



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**
⑩ **DE 103 04 657 A 1**

⑤1 Int. Cl.⁷:
H 01 M 8/04
H 01 M 8/24

②1 Aktenzeichen: 103 04 657.7
②2 Anmeldetag: 5. 2. 2003
④3 Offenlegungstag: 4. 9. 2003

DE 103 04 657 A 1

⑥6 Innere Priorität:
102 05 327. 8 08. 02. 2002

⑦1 Anmelder:
General Motors Corp., Detroit, Mich., US

⑦4 Vertreter:
Manitz, Finsterwald & Partner GbR, 80336 München

⑦2 Erfinder:
Dehne, Tomas, 53332 Bornheim, DE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gem. Paragraph 43 Abs. 1 Satz PatG ist gestellt

⑤4 Brennstoffzellenstapel und Verfahren zum Betrieb eines Brennstoffzellensystems mit einem solchen Brennstoffzellenstapel

⑤7 Die Erfindung betrifft einen Brennstoffzellenstapel, der aus mehreren zusammengeschlossenen Brennstoffzellen besteht, die jeweils eine Anode und eine Kathode sowie eine dazwischen angeordnete Membran aufweisen, die zwischen zwei bipolaren Platten angeordnet sind, wobei die Anodenseiten der einzelnen Brennstoffzellen Strömungsfelder für einen den Brennstoffzellen zugeführten gasförmigen Brennstoff und die Kathodenseiten der einzelnen Brennstoffzellen Strömungsfelder für ein den Brennstoffzellen zugeführtes gasförmiges Oxidationsmittel aufweisen und der Brennstoff und das Oxidationsmittel an Katalysatormaterial innerhalb der Brennstoffzellen zur Erzeugung von elektrischer Energie bei gleichzeitiger Produktion von Wasser reagieren, wobei die anodenseitigen Strömungsfelder sich zwischen einem im Brennstoffzellenstapel oben angeordneten Anodenraum und einen im Brennstoffzellenstapel unten angeordneten Anodenraum erstrecken, wobei im unten angeordneten Anodenraum ein Sammelbehälter für während der elektrochemischen Reaktion erzeugtes und in Form einer Flüssigkeit vorliegendes Wasser vorgesehen ist und das dort gesammelte Wasser eine Verdunstungsfläche aufweist und der Befeuchtung des dem Brennstoffzellenstapel zugeführten Brennstoffs dient.

DE 103 04 657 A 1

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft einen Brennstoffzellenstapel, der aus mehreren zusammengeschlossenen Brennstoffzellen besteht, die jeweils eine Anode und eine Kathode sowie eine dazwischen angeordnete Membran aufweisen und die jeweils zwischen zwei bipolaren Platten angeordnet sind, wobei die Anodenseiten der einzelnen Brennstoffzellen Strömungsfelder für einen gasförmigen Brennstoff aufweisen, der den Brennstoffzellen zugeführt wird, und wobei die Kathodenseiten der einzelnen Brennstoffzellen Strömungsfelder für ein gasförmiges Oxidationsmittel aufweisen, das den Brennstoffzellen zugeführt wird, und wobei der Brennstoff und das Oxidationsmittel an einem Katalysatormaterial im Inneren der Brennstoffzellen zur Erzeugung von elektrischer Energie bei gleichzeitiger Erzeugung von Wasser reagieren, und wobei sich die anodenseitigen Strömungsfelder zwischen einem im Brennstoffzellenstapel oben angeordneten Anodenraum und einem im Brennstoffzellenstapel unten angeordneten Anodenraum erstrecken. Des Weiteren betrifft die Erfindung außerdem ein Verfahren zum Betrieb eines derartigen Brennstoffzellenstapels.

[0002] Ein Brennstoffzellenstapel der eingangs genannten Art ist beispielsweise aus der US-A-5.441.821 bekannt. Dort wird Brennstoff in Form von Wasserstoff dem Anodeneingang eines Brennstoffzellenstapels zugeführt und der bei der Durchströmung der anodenseitigen Strömungsfelder des Brennstoffzellenstapels nicht verbrauchte Wasserstoff wird durch einen Sammelbehälter für flüssiges Wasser hindurchgeschickt und zusammen mit frischem Wasser dem Anodeneingang wieder zugeführt. Die Anordnung ist dort so getroffen, dass der frische Wasserstoff in eine Injektorpumpe eingeführt wird und dort für eine Saugwirkung sorgt, die den zurückgeführten Wasserstoff einsaugt, mit dem aus der Injektorpumpe heraustretenden frischen Wasserstoff nimmt und dem Anodeneingang des Brennstoffzellenstapels erneut zugeführt wird. Es wird dort zum Ausdruck gebracht, dass der zurückgeführte Wasserstoffanteil, welcher Wasserdampf enthält, mit dem frischen Wasserstoff vermischt werden kann, um den einströmenden frischen Wasserstoff zu befeuchten und hierdurch die Notwendigkeit einer getrennten Befeuchtungseinrichtung zu vermeiden, wobei es allgemein bekannt ist, dass sogenannte PEM-Brennstoffzellen mit Wasserstoff mit einer gewissen Feuchte betrieben werden müssen, um einen hohen Wirkungsgrad zu erreichen und in den Brennstoffzellen vorhandenen Membranen feucht zu halten und hierdurch Schäden zu vermeiden, die mit nicht ausreichend befeuchteten Membranen auftreten können.

[0003] Die US-A-5.441.821 verweist außerdem auf die US-A-3.462.308, welche ein ähnliches System zeigt, jedoch mit einem zusätzlichen Ablassventil in der Wasserstoff-Rückführschleife, das angesteuert wird, um für die richtigen Verhältnisse bei der Injektorpumpe zu sorgen.

[0004] Es ist außerdem bekannt, dass bei einem Brennstoffzellenstapel mit Rückführung des Wasserstoffs der Anteil von Stickstoff und Wasser im Anodenkreis allmählich steigt und zu einer Verschlechterung des Wirkungsgrades führt. Diesem zu begegnen ist es bekannt, entweder einen Teil der strömenden Gase kontinuierlich abzulassen oder ein Ablassventil diskontinuierlich zu öffnen, um von Zeit zu Zeit den anodenseitigen Strömungskreis mit frischem Wasserstoff zu spülen und den Wirkungsgrad auf diese Weise auf einem Höhniveau zu halten. Durch diese Arbeitsweise, "Rülpbetrieb" (burp operation) genannt, gelingt es, die Leistung des Brennstoffzellenstapels deutlich zu stabilisieren.

[0005] Problematisch bei einer solchen Arbeitsweise ist, vor allem bei einem kompakten Aufbau des Brennstoffzellenstapels, dass ein relativ hoher Druckabfall über dem Brennstoffzellenstapel an der Anodenseite festzustellen ist. Dies führt dazu, dass der Leistungsbedarf der verwendeten Rezirkulationspumpe ansteigt. Dieses Ansteigen des Leistungsbedarfs der Rezirkulationspumpe hat zum einen einen negativen Einfluss auf den gesamten Wirkungsgrad des Systems und zum anderen führt es zu einer für die PEM-Membranen gefährliche Temperaturerhöhung des Rezirkulats nach der Pumpe. Um dieser Erhöhung entgegenzuwirken, war es bisher erforderlich, einen zusätzlichen Kühler zwischen der Rezirkulationspumpe und dem Brennstoffzellenstapel zu installieren.

[0006] Hauptaufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, einen Brennstoffzellenstapel der eingangs genannten Art vorzusehen, bei dem die erforderliche Befeuchtung des der Anodenseite zugeführten Brennstoffs sichergestellt ist, das Vorsehen eines Kühlers bzw. Wärmetauschers zwischen der Rezirkulationspumpe und dem Brennstoffzellenstapel entfällt, eine homogene Gas- und Feuchteverteilung auf der Anodenseite geschaffen wird und der Verlust an Brennstoff durch die Notwendigkeit, im Anodenströmungskreis zirkulierenden Brennstoff abzulassen, minimiert wird. Weiterhin soll vorzugsweise das Vorsehen einer externen Wassertank-einrichtung vermieden werden können.

[0007] Um die voranstehende Aufgabe zu lösen, wird erfindungsgemäß ein Brennstoffzellenstapel der eingangs genannten Art vorgesehen, der sich dadurch auszeichnet, dass im unten angeordneten Anodenraum ein Sammelbehälter für während der elektrochemischen Reaktion erzeugtes und in Form einer Flüssigkeit vorliegendes Wasser vorgesehen ist und dort gesammeltes Wasser über eine Verdunstungs-oberfläche zur Befeuchtung des dem Brennstoffzellenstapel zugeführten Brennstoffs dient.

[0008] Durch diese Auslegung des Brennstoffzellenstapels wird, anstatt eine herkömmliche externe Wassertrenneinrichtung mit einem Sammelbehälter für Wasser zu verwenden, der Sammelbehälter im unteren Anodenraum angeordnet bzw. dieser als Sammelbehälter ausgebildet, so dass sich Wasser in Flüssigform dort unter Wirkung von Schwerkraft sammelt. Aufgrund der Größe der Oberfläche des im unteren Anodenraum angeordneten porösen Mediums verfügt das dort gesammelte Wasser über eine große Verdunstungs-oberfläche, wodurch der zugeführte Brennstoff einerseits ausreichend befeuchtet werden kann, andererseits aber auch an das vorherrschende Temperaturniveau angepasst wird. Diese Vorkonditionierung des Anodengases im unteren Anodenraum bedeutet für die resultierende Konfiguration, dass die Rezirkulationspumpe lediglich die Funktion des Transportierens des Mediums, d. h. des Anodengases zu erfüllen hat. Die Rezirkulationspumpe kann somit an der unteren Stabilitätsgrenze betrieben werden. Auf diese Weise ist die in die Rezirkulationsströmung eingebrachte Wärmeleistung erheblich reduziert, und es ist möglich, auf einen zusätzlichen Kühler oder Wärmetauscher zwischen der Rezirkulationspumpe und dem Brennstoffzellenstapel zu verzichten.

[0009] Durch die homogene Gas- und Feuchteverteilung auf der Anodenseite wird weiterhin eine homogene Energieerzeugung über die gesamten Flächen der Brennstoffzellen erreicht und dies führt einerseits zu einer Herabsetzung der Stöchiometrie auf der Anodenseite des Brennstoffzellenstapels, d. h. das Verhältnis zwischen der zugeführten Wasserstoffmenge und der auf der Anodenseite umgesetzten Wasserstoffmenge, wodurch der Druckabfall über die Anodenseite des Brennstoffzellenstapels herabgesetzt wird. Da die Konfiguration es ermöglicht, die Rezirkulationspumpe an

der unteren Stabilitätsgrenze zu betreiben, kann die Rezirkulationspumpe erheblich kleiner bemessen werden, was zu einem verbesserten Systemwirkungsgrad führt.

[0010] Eine mögliche Konfiguration besteht darin, ein Leitungssystem mit mindestens einer ersten Leitung, die sich im unteren Anodenraum befindet und einen Eingang und einen Ausgang aufweist, der über eine Pumpe und eine zweite Leitung zum oberen Anodenraum führt, vorzusehen und das Leistungssystem so auszugestalten, dass aus den anodenseitigen Strömungsfeldern und vom unteren Anodenraum kommender, befeuchteter noch nicht verbrauchter Brennstoff in den oberen Anodenraum im Sinne einer Brennstoffrückführung eingespeist wird.

[0011] Zu diesem Zweck weist die im unteren Anodenraum vorgesehene Leitung vorzugsweise mindestens eine Öffnung zur Aufnahme von befeuchtetem Brennstoff aus dem unteren Anodenraum auf. Der Eingang der im unteren Anodenraum vorgesehenen Leitung bildet einen Brennstoffeingang für frischen, von außen kommenden Brennstoff, wobei eine Brennstoffzuführeinrichtung beispielsweise in Form eines Ventils diesem Eingang vorgeschaltet ist.

[0012] Ferner weist das Leitungssystem vorzugsweise mindestens einen Eingang und einen Ausgang aufweisende dritte Leitung im oberen Anodenraum auf und in dieser dritten Leitung ist mindestens eine Öffnung vorgesehen, um aus der zweiten Leitung kommenden Brennstoff in den oberen Anodenraum einströmen zu lassen, wobei der Ausgang der dritten Leitung über eine vierte Leitung mit dem Eingang der ersten Leitung im unteren Anodenraum kommuniziert. Ein Drosselventil ist vorzugsweise in dieser vierten Leitung vorgesehen und die Abblasseinrichtung für anodenseitig strömende Gase ist vorzugsweise an die vierte Leitung stromaufwärts des Drosselventils angeschlossen.

[0013] Die ersten und dritten Leitungen im unteren Anodenraum und im oberen Anodenraum haben jeweils vorzugsweise die Form von mindestens einer Schleife, und die mindestens eine Öffnung in beiden Leitungen bzw. Schleifen ist vorzugsweise dadurch geschaffen, dass eine Rohrleitung mit einer perforierten Wandung mit mehreren kleineren Öffnungen verwendet wird. Hierdurch wird eine ausgeglichene verteilende und sammelnde Funktion in den jeweiligen Anodenräumen erreicht, wodurch eine gleichmäßigere Gas- und Feuchteverteilung im Brennstoffzellenstapel erreichbar ist.

[0014] Bei einem Brennstoffzellenstapel mit der oben beschriebenen Auslegung erfolgt die konkrete Ausbildung des Leitungssystems für die Führung des gasförmigen Brennstoffs wie folgt:

- der frische Brennstoff wird über die Brennstoffzuführeinrichtung dem Eingang der ersten Leitung im unteren Anodenraum zugeführt,
- nicht verbrauchter Brennstoff, der die anodenseitigen Strömungsfelder verlässt, strömt durch mindestens eine Öffnung der ersten Leitung in diese hinein und zusammen mit dem frischen Brennstoff weiter über die Pumpe und die zum oberen Anodenraum führende zweite Leitung in den Eingang der dritten, sich im oberen Anodenraum befindlichen Leitung hinein,
- ein erster Teil des in die dritte Leitung eintretenden Brennstoffs strömt aus der mindestens einen Öffnung dieser dritten Leitung in den oberen Anodenraum und in die anodenseitigen Strömungsfelder hinein, wobei in den Brennstoffzellen nicht verbrauchter Brennstoff durch die anodenseitigen Strömungsfelder in den unteren Anodenraum gelangt,
- und ein zweiter Teil des in die dritte Leitung eingehenden Brennstoffs strömt durch das Drosselventil und

eine weitere Leitung zum Eingang der im unteren Anodenraum vorgesehenen ersten Leitung auf der stromabwärtigen Seite der Brennstoffzuführeinrichtung, wobei eine Abzweigung im Leitungssystem zu der Abblasseinrichtung zum kontinuierlichen oder diskontinuierlichen Ablassen eines Teils der anodenseitig zirkulierenden Gase führt.

[0015] Es ist allerdings nicht zwangsläufig erforderlich, die Leitungen im oberen und unteren Anodenraum durch Schleifen zu bilden, sondern es kommt auch eine koaxiale Anordnung von Leitungen ebenfalls in Frage. Beispielsweise kann die erste im unteren Anodenraum vorgesehene Leitung durch eine innere Rohrleitung und eine äußere Rohrleitung gebildet werden, wobei die äußere Rohrleitung an ihrem einen Ende den Eingang für frischen Brennstoff und eine perforierte Wandung aufweist, durch die von den Strömungsfeldern kommender, nicht verbrauchter Brennstoff unter der Einwirkung der Rezirkulationspumpe eingesaugbar und mit dem frischen Brennstoff durch einen zwischen den beiden Rohrleitungen gebildeten Strömungskanal zu dem Eingang abgewandten Ende der äußeren Rohrleitung führbar und dort in die innere Rohrleitung einspeisbar ist, die den Brennstoff zu dem nahe dem Eingang angeordneten Ausgang der inneren Rohrleitung führt.

[0016] Im ähnlichen Sinne kann die im oberen Anodenraum vorgesehene dritte Leitung durch eine innere Rohrleitung und eine äußere Rohrleitung gebildet werden, wobei die innere Rohrleitung an ihrem einen Ende den Eingang für Brennstoff aufweist und an ihrem dem Eingang abgewandten Ende innerhalb der äußeren Rohrleitung mündet, die eine perforierte Wandung aufweist, durch die ein Teil des eingehenden Brennstoffs austreten und in die anodenseitigen Strömungsfelder eintreten kann, wobei ein weiterer Teil des eingehenden Brennstoffs durch einen zwischen den beiden Rohrleitungen gebildeten Strömungskanal zum Ausgang an dem Ende der äußeren Rohrleitung benachbart zum Eingang der inneren Rohrleitung führbar ist.

[0017] Anstelle Konstruktionen zu verwenden, bei denen Leitungen im oberen und unteren Anodenraum vorgesehen sind, kann ein Brennstoffzellenstapel erfindungsgemäß so ausgelegt werden, dass der obere Anodenraum einen Eingang für gasförmigen Brennstoff, der in den oberen Anodenraum eingeführt wird sowie einen Ausgang für einen Teil dieses gasförmigen Brennstoffs aufweist, wobei ein weiterer Teil des gasförmigen Brennstoffs aus dem oberen Anodenraum in die anodenseitigen Strömungsfelder hineinströmt, dass zwischen dem Ausgang des oberen Anodenraums und einem Eingang des unteren Anodenraums eine Leitung für den weiteren Teil des gasförmigen Brennstoffs vorgesehen ist, dass in dieser Leitung eine Drosselstelle bzw. ein Drosselventil eingebaut ist, dass eine Zuführleitung für frischen Brennstoff in die zuletzt genannte Leitung stromabwärts der Drosselstelle bzw. des Drosselventils mündet, dass eine Brennstoffzuführeinrichtung in der Zuführleitung vorgesehen ist, dass ein Ausgang des unteren Anodenraums mit dem Eingang des oberen Anodenraums über eine weitere Leitung verbunden ist, dass eine Pumpe in der den Ausgang des unteren Anodenraums mit dem Eingang des oberen Anodenraums verbindenden weiteren Leitung vorgesehen ist, dass eine Abzweigung von der den Ausgang des oberen Anodenraums mit dem Eingang des unteren Anodenraums verbindenden Leitung stromaufwärts der Drosselstelle bzw. des Drosselventils abzweigt und dass eine Abblasseinrichtung in der Abzweigung vorgesehen ist.

[0018] Die Wirkungsweise vom erfindungsgemäße Brennstoffzellenstapel kann wie folgt zusammengefasst

werden.

[0019] Der untere Anodenraum ist befeuchtet, da zum einen das im Betrieb aus den anodenseitigen Strömungsfeldern austretende Gas gesättigt befeuchtet ist und sich zum anderen das flüssig auftretende Wasser als Bodensatz im unteren Anodenraum ansammelt und diesen durch Verdunstung auf die vorherrschende Anodenraumtemperatur befeuchtet.

[0020] Dieser Bodensatz kann, um die Verdunstungsoberfläche zu vergrößern, in einem Schwamm oder anderes poröses Material aufgenommen werden.

[0021] Dieser Schwamm sollte in einer Wanne liegen, die temperaturstabil und flicht leitfähig ist. Sollte der Wasserüberschuss zu groß werden, muss er durch einen Überlauf in der Wanne in eine Überlaufkammer laufen und kann dort bei Erreichen eines maximalen Füllstandes durch Öffnen eines geeigneten Ablassventils abgelassen werden.

[0022] Der Abstand zwischen dem höchsten Pegel des den Bodensatz bildenden Wassers und den im Brennstoffzellenstapel integrierten bipolaren Platten soll so groß sein, dass eine Entkopplung zwischen den potentialtragenden bipolaren Platten und dem Bodensatz geschaffen wird und hierdurch ein Kurzschluss aufgrund der möglichen Anreicherung von Verunreinigungen im Bodensatz, die zu einem Ansteigen der Leitfähigkeit führen könnten, verhindert wird. Die das Wasser aufnehmende Wanne mit der Überlaufkammer soll vorzugsweise als Einschub für den unteren Anodenraum konstruiert sein.

[0023] Das verwendete Material für etwaige vorhandene Leitungen im oberen und unteren Anodenraum soll temperaturbeständig und nicht leitfähig sein.

[0024] Im Betrieb erzwingt die Rezirkulationspumpe einen Gasaustausch zwischen dem unteren feuchten Anodenraum und dem oberen trockenen Anodenraum und erhöht somit die relative Feuchte im oberen Anodenraum.

[0025] Im Normalbetrieb ist das Ablassventil geschlossen und das Drosselventil sowie die Leistung der Rezirkulationspumpe so eingestellt, dass der Druck im oberen Rezirkulationskreis über dem des oberen Anodenraumes liegt. Zudem muss der Druck im oberen Anodenraum größer sein als der Druck im unteren Anodenraum, um eine Strömungsrichtung vom oberen Anodenraum zum unteren aufzuprägen.

[0026] Diese Verhältnisse ermöglichen folgende Funktionen:

Die Temperatur des frischen Brennstoffs wird, ebenso wie das rezirkulierte Gas aus dem oberen Anodenraum nach Eintritt in den unteren Anodenraum an die dort vorherrschende Temperatur angenähert und aufgrund der Druckdifferenz zwischen dem unteren Rezirkulationskreis und dem unteren Anodenraum strömt auch befeuchteter Brennstoff aus dem unteren Anodenraum in den unteren Rezirkulationskreis, beispielsweise durch die Löcher, die in der dort vorgesehenen Leitung vorgesehen sind. Das dadurch konditionierte Gas wird mit der Rezirkulationspumpe in den oberen Anodenraum gepumpt.

[0027] Eine aufgrund der Komprimierung der Rezirkulationspumpe bedingte Temperaturerhöhung kann durch die Endplatte, die sich auf die Temperatur des Brennstoffzellenstapels bezieht und dem ungelochten Teil der die Leitungen im oberen Anodenraum bildenden Schleife kompensiert werden. Aufgrund des Überdruckes in dieser sich im oberen Anodenraum befindlichen Leitung tritt das aufbereitete Gas durch die in der Leitung vorgesehenen Löcher relativ homogen in den oberen Anodenraum ein. Diese Differenz zwischen dem oberen Anodenraum und dem unteren Anodenraum bewirkt die erforderliche kleine Zwangsströmung durch die anodenseitigen Strömungsfelder zu den aktiven Bereichen der Membranelektrodenheiten der einzelnen

Brennstoffzellen.

[0028] Während des Betriebes steigt die Konzentration an Stickstoff im Anodenströmungskreis durch Diffusion von der Kathodenseite an und es sammelt sich Wasser in den anodenseitigen Strömungsfeldern. Fällt dadurch die kleinste Zellspannung zu stark oder steigt die Streuung der Zellspannung zu sehr, so kann durch Durchspülen der Brennstoffzellen mit frischem Wasserstoff und Ablassen (Rülpfenbetrieb) einer kleinen Gasmenge der Brennstoffzellenstapel regeneriert werden. Dazu wird das Drosselventil geschlossen und die Rezirkulationspumpe fördert einen möglichst großen Gasstrom durch die anodenseitigen Strömungsfelder. Diese werden dadurch mit H_2 gespült und eventuell angesammeltes Wasser ausgetrieben. Lässt man gleichzeitig eine gewisse Menge an Gas aus dem Anodenkreis ab, so kann die N_2 -Konzentration gesenkt werden, wodurch sich die Zellspannungen wieder stabilisieren. Liegt die Streuung der Zellspannungen wieder in einem zulässigen Bereich, wird das Drosselventil wieder geöffnet, das Ablassventil geschlossen und das System wieder im Normalmodus betrieben. Das erfindungsgemäße System führt zu folgenden Vorteilen:

1. Höherer Systemwirkungsgrad aufgrund einer kleineren Rezirkulationspumpe.
2. Eine Verringerung des Verlustes an Brennstoff (H_2) durch Reduzierung der abgelassenen H_2 -Menge im Rülpfbetrieb, wobei diese Verringerung an H_2 -Verlust zu einer höheren Reichweite des Fahrzeuges und zu einer Steigerung des Systemwirkungsgrades (aufgrund zwingender Ablassverluste) führt.
3. Homogene Gas- und Feuchteverteilung auf der Anodenseite.
4. Eine günstigere Rezirkulationspumpe kann verwendet werden aufgrund der reduzierten Anforderung an diese Pumpe.
5. Ein Wärmetauscher zwischen der Rezirkulationspumpe und dem Brennstoffzellenstapel sowie eine externe Wassertrenneinrichtung können entfallen.
6. Eine Verbesserung der Lebensdauer der Zellen am "trockenen Ende" des Brennstoffzellenstapels, d. h. im Bereich des oberen Anodenraumes durch die homogenere Gas- und Feuchteverteilung.

[0029] Weitere bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung sind den Ansprüchen zu entnehmen. Die Erfindung wird nachfolgend rein beispielhaft näher erläutert anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen, die zeigen:

[0030] Fig. 1 eine schematische Draufsicht auf eine Ausführungsform einer bipolaren Platte einer Brennstoffzelle,

[0031] Fig. 2 einen Querschnitt durch die in Fig. 1 dargestellte Ausführungsform entlang der Linie II-II,

[0032] Fig. 3 einen Querschnitt durch die in Fig. 1 dargestellte Ausführungsform entlang der Linie III-III,

[0033] Fig. 4 einen schematischen Querschnitt eines Ausschnittes zweier benachbarter Brennstoffzellen mit drei bipolaren Platten der in Fig. 1 dargestellten Ausführungsform,

[0034] Fig. 5 eine Seitenansicht eines erfindungsgemäßen Brennstoffzellenstapels,

[0035] Fig. 6 eine vordere Ansicht des Brennstoffzellenstapels der Fig. 5,

[0036] Fig. 7 eine obere Draufsicht des Brennstoffzellenstapels gemäß Fig. 5,

[0037] Fig. 8 eine Ansicht von unten auf den Brennstoffzellenstapel der Fig. 5, wobei die Zeichnungen der Fig. 5, 7 und 8 teilweise weggebrochen sind, um die inneren Details des Brennstoffzellenstapels schematisch darzustellen,

[0038] Fig. 9 eine detailliertere Seitenansicht ähnlich der Seitenansicht der Fig. 5, jedoch mit einer Darstellung einer Wanne zum Auffangen des sich im unteren Anodenraumes sammelnden Wassers,

[0039] Fig. 10 eine schematische Darstellung eines Brennstoffzellenstapels entsprechend den Fig. 6 bis 9, aus der die Leitungsführung auf der Anodenseite klarer hervorgeht,

[0040] Fig. 11 eine schematische Darstellung einer koaxialen Leitung, die anstelle der in Fig. 10 dargestellten Schleife im oberen Anodenraum verwendet werden kann,

[0041] Fig. 12 eine schematische Darstellung einer koaxialen Leitung, die anstelle der in Fig. 10 dargestellten Schleife im unteren Anodenraum verwendet werden kann,

[0042] Fig. 13 eine schematische Darstellung ähnlich der der Fig. 10, jedoch von einer alternativen erfindungsgemäßen Ausführungsform,

[0043] Fig. 14 eine modifizierte Version der Ausführungsform von Fig. 13;

[0044] Fig. 15 eine weiter modifizierte Version der Ausführungsform von Fig. 14;

[0045] Fig. 16 noch eine weiter modifizierte Version von Fig. 13; und

[0046] Fig. 17 eine alternative Ausführungsform der Erfindung.

[0047] Die Fig. 1 bis 3 zeigen zunächst eine bipolare Platte 10 für eine Brennstoffzelle. Die bipolare Platte ist zur Anwendung in einem Brennstoffzellenstapel bestehend aus mehreren aufeinander gestapelten PEM Brennstoffzellen (wie in Fig. 4 angedeutet und in Fig. 5 bzw. 10 schematisch gezeigt) geeignet. Solche bipolaren Platten sind in verschiedenen Ausführungsformen an sich sehr gut bekannt, sie sind beispielsweise in den nachfolgenden Schriften beschrieben: EP-A-97202343.6, EP-A-0975039, WO 98/53514, EP-A-0940868, WO 98-10477 und EP-A-0984081.

[0048] Die vorliegenden Fig. 1 bis 4 sind lediglich schematische Zeichnungen, um die Formgebung einer solchen bipolaren Platte sowie den Aufbau eines Brennstoffzellenstapels zu erläutern.

[0049] Die Oberseite der bipolaren Platte 10 gemäß Fig. 1 ist mit einem umlaufenden Rand 14 versehen, der in einer Ebene liegt, ebenso wie die Unterseite der bipolaren Platte 10. Dies ermöglicht es, die Platte in einem Stapel von Platten zu integrieren und eine abgedichtete Verbindung zu weiteren Platten 10, die nur schematisch in den Fig. 2 und 3 gezeigt sind, sicherzustellen. Auf der einen Seite der Platte 10 sind zwei Zuführöffnungen 20 für bspw. Luft vorgesehen, die mit einem vertieften Kanalbereich 22 kommunizieren. Auf der anderen Seite der bipolaren Platte befinden sich zwei Abfuhröffnungen 24 für verbrauchte Luft, z. B. Luft mit einem reduzierten Sauerstoffgehalt, die mit einem vertieften Kanalbereich 26 kommunizieren. Zwischen dem vertieften Kanalbereich 22 und dem vertieften Kanalbereich 26 erstrecken sich in Längsrichtung der bipolaren Platte Strömungskanäle 28, die Strömungsfelder bilden und es ermöglichen, die über die Zuführöffnungen 20 zugeführte Luft von der linken Seite der Platte zur rechten Seite zu den Abfuhröffnungen 24 zu strömen. Dabei gelangt diese Luft auf oberhalb der Kanäle 28 angeordneten katalytisch beschichteten Flächen der zur Membran-Elektroden Einheit (MEA) gehörenden Kathode 16 und reagiert dort mit Protonen, die von der Anodenseite der Brennstoffzelle zugeführt werden, wie später beschrieben wird, um Wasser zu bilden, wobei ein elektrischer Strom erzeugt wird, der durch die bipolare Platte 10 hindurchströmt.

[0050] Die weiteren Öffnungen 32 und 34 der Platte stellen Zufuhr- bzw. Abfuhröffnungen für Wasserstoff dar; diese sind auf der oberen und unteren Seite 12 bzw. 36 der

bipolaren Platte in Fig. 3 durch Bereiche der Platte, die in der Ebene der Umrahmung 14 liegen, von den Luftzufuhr- und -abfuhröffnungen 20 bzw. 24 und den entsprechenden vertieften Bereichen 22 und 26 getrennt und diesen und der Außenumgebung gegenüber abgedichtet.

[0051] Auf der unteren Seite 36 der Platte 10 sind, entsprechend der Fig. 3, vertiefte Kanalbereiche in einer zu Fig. 1 umgekehrten Anordnung vorgesehen, d. h. die zwei Zuführöffnungen 32 kommunizieren mit einem vertieften Kanalbereich 38 entsprechend dem Kanalbereich 22 auf der oberen Seite der Platte 10, während die zwei Abfuhröffnungen 34 mit einem (nicht gezeigten) vertieften Kanalbereich kommunizieren, der entsprechend dem Kanalbereich 26 ausgebildet ist. Die Kanalbereiche auf der Unterseite 36 der Platte 10 kommunizieren mit den in der unteren Seite der Platte ausgebildeten Längskanälen 40, so dass Wasserstoff von den Zuführöffnungen 32 zu den Abfuhröffnungen 34 strömen kann. Die Kanalbereiche auf der Unterseite 30 der bipolaren Platte 10 bilden ebenfalls Strömungsfelder.

[0052] Wie in Fig. 4 gezeigt, gehört die Unterseite der bipolaren Platte 10 der Fig. 3 zu der benachbarten Brennstoffzelle 11 und liefert Protonen über die Anode 18 an die Membran 42 dieser Zelle 11, wobei die Protonen durch die Membran 42 hindurchgehen und in der benachbarten Kammer auf der Kathode 16 mit Luftsauerstoff umgesetzt werden, wodurch einerseits Strom entsteht und andererseits Wasser erzeugt wird.

[0053] Der Luftstrom in der benachbarten Zelle 11 wird von der dortigen unteren bipolaren Platte 10 genauso wie bei der bipolaren Platte 10 der Figur. 1 zur Verfügung gestellt. Wie bekannt existiert zwischen je zwei benachbarten bipolaren Platten 10 eine Brennstoffzelle 11 bestehend aus einer Anode (hier die Platte 18), einer Kathode (hier die Platte 16) und dazwischen einem in Form einer Membran (hier die Membran 42) vorliegenden Elektrolyten, wobei die Platten 16, 18 und die dazwischen liegende Membran die oben erwähnte sogenannte MEA bilden. Die durch die Strömungskanäle 28 gebildeten Strömungsfelder sind somit kathodenseitige Strömungsfelder und die durch die Strömungskanäle 40 gebildeten Strömungsfelder sind somit anodenseitige Strömungsfelder.

[0054] Die bipolare Platte 10 ist aus Edelstahl gebildet, sie kann aber beispielsweise aus Titan, Stahl, Weißblech, Aluminium, Magnesium und/oder einer Legierung der genannten Metalle gebildet sein, die ggf. mit einer Korrosionsschutzschicht versehen werden.

[0055] Die Platten des Brennstoffzellenstapels gemäß Fig. 4 werden so zusammengesetzt, dass die Luftzufuhrpassagen 20 alle zu einem oberen Kathodenraum 100 (Fig. 6 und 7) führen, während die Ausgangskanäle 24 für nicht verbrauchte Luft alle zu einem unteren Kathodenraum 102 im Brennstoffzellenstapel hinführen.

[0056] In ähnlicher Weise werden die Eingangspassagen 32 für Brennstoff zu einem oberen Anodenraum 104 (Fig. 5, 6 bis 7) geführt, während die Abflusskanäle 36 für nicht verbrauchten Brennstoff zu einem unteren Anodenraum 106 (Fig. 5, 6 und 8) führen. Dies bedeutet nicht unbedingt eine besondere Anordnung der einzelnen Brennstoffzellen im Brennstoffzellenstapel, sondern nur, dass die entsprechenden Zufuhr- und Abfuhrkanäle zu den jeweiligen Kathodenräumen 100, 102 und Anodenräumen 104, 106 durch interne Passagen des Brennstoffzellenstapels geführt werden.

[0057] Üblicherweise wird auch für eine Kühlung der bipolaren Platten gesorgt, entweder in Form einer Flüssigkeitskühlung oder in Form einer Gaskühlung, und zu diesem Zweck weisen die bipolaren Platten interne Passagen auf, die zwischen einem Kühlmittelinlass 108 und einem Kühlmittelauslass 110 in Fig. 6 geführt werden. Der entspre-

chende Kühlkreis (hier nicht gezeigt, aber weiter unten im Zusammenhang mit Fig. 14 beschrieben) ist strömungsmäßig vollkommen getrennt vom Anodenkreis und vom Kathodenkreis und wird hier nicht weiter beschrieben, da er zunächst für das Verständnis der vorliegende Erfindung nicht von Bedeutung ist. Die internen Kühlpassagen der bipolaren Platten können dadurch gebildet werden, dass die bipolaren Platten in der Mitte getrennt sind und mindestens eine der sich gegenüberliegenden Hälften mit einer die Kühlpassagen bildenden Strukturierung versehen wird.

[0058] Da der untere Anodenraum 106 unterhalb des oberen Anodenraumes 104 liegt, wird sichergestellt, dass Wasser in Flüssigform, das sich im Brennstoffzellenstapel befindet, aufgrund von Schwerkraft und aufgrund der Durchströmung der anodenseitigen Strömungsfelder sich zum unteren Anodenraum 106 hin bewegt.

[0059] Wie in Fig. 9 gezeigt, ist im unteren Bereich des unteren Anodenraumes 106 eine als Einschub vorgesehene Wanne 112 vorhanden, die mit einem Schwamm 114 gefüllt ist. Es handelt sich bei diesem Schwamm um ein offenesporiges Material, beispielsweise aus Kunststoff oder aus Keramik, das eine große Verdunstungsfläche für dort enthaltenes Wasser aufweist.

[0060] Benachbart zu der als Sammelbehälter funktionierenden Wanne 112 befindet sich eine Überlaufkammer 116 für flüssiges Wasser, wobei eine Öffnung 118 in der Wandung der Wanne bzw. der Überlaufkammer 116 einen Überlauf darstellt, so dass der Wasserpegel 120 in der Wanne zumindest im wesentlichen bei der Höhe des Überlaufes 118 stabilisiert wird. In der Überlaufkammer 116 befindet sich ein Füllstandssensor 122, der über Steuerleitungen 124 und eine entsprechende Steuerung 126 mit einem Ablassventil 128 gekoppelt ist, so dass, wenn der Wasserpegel 130 in der Überlaufkammer 116 die Höhe des Füllstandssensors 122 erreicht, das Ventil 128 geöffnet wird, um das Wasser aus der Überlaufkammer 116 abzulassen.

[0061] Das Bezugszeichen 132 deutet auf eine Druckausgleichsöffnung, die sicherstellt, dass der Druck in der Überlaufkammer 116 dem Druck im unteren Anodenraum 106 entspricht.

[0062] Sowohl die Wanne 112 als auch die Überlaufkammer 116 sind aus einem temperaturstabilen Material hergestellt und nicht leitfähig ausgeführt. Sie sind vorzugsweise gemeinsam an einer Endplatte 134 des Brennstoffzellenstapels befestigt und können durch Lösen der Endplatte vom Brennstoffzellenstapel (über nicht dargestellte Schraubverbindungen mit dazwischengeschalteten Dichtungen) mit der Endplatte vom Brennstoffzellenstapel entfernt werden, d. h. die Wanne 112 und die Überlaufkammer bilden einen Einschub.

[0063] Aus den Fig. 5 bis 9 ist ersichtlich, dass der untere Anodenraum 106 und der obere Anodenraum 104 durch ein Leitungssystem miteinander verbunden sind, wobei die Auslegung dieses Leitungssystems etwas einfacher zu verstehen ist, wenn man gleichzeitig die Fig. 10 betrachtet. Die Auslegung des Leitungssystems wird nunmehr anhand der Fig. 5 bis 10 näher erläutert.

[0064] Frischer Brennstoff, beispielsweise Wasserstoff von einem Wasserstoffvorratstank (nicht gezeigt) oder ein wasserstoffreiches Synthesegas von einer Reformiereinheit (ebenfalls nicht gezeigt), wird über eine schematisch dargestellte Leitung 140 und eine Brennstoffzuführeinrichtung 142, die als Einlassventil in Form eines Digitalventils oder eines Proportionalventils bzw. eines Stellventils oder als Injektor realisiert werden kann, dem Eingang 144 (Fig. 10) einer ersten Leitung 146 im unteren Anodenraum zugeführt. Diese Leitung 146 ist als U-förmige Schleife ausgebildet und zwar durch eine Rohrleitung mit einer perforierten

Wandung, wobei die Perforationen 147 Öffnungen bilden, die es ermöglichen, dass aus den anodenseitigen Strömungsfeldern 40 ausströmender, nicht verbrauchter, aber gut befeuchteter Brennstoff in die erste Leitung 146 eingesaugt wird. Dieses Einsaugen erfolgt aufgrund der Saugwirkung einer Rezirkulationspumpe 152, die die eingesaugten Gase über eine zweite Leitung 154 in den Eingang 156 einer dritten, ebenfalls als Schleife ausgebildeten Rohrleitung 158 in den oberen Anodenraum 104 befördert. Auch die dritte Leitung 158 hat eine perforierte Wandung, wobei die Perforationen wie 159 je eine Öffnung bilden, aus der ein Teil des von der Pumpe 152 zugeführten Brennstoffs in den oberen Anodenraum einströmt und durch die anodenseitigen Strömungsfelder 40 strömen kann. Ein weiterer Teil des von der Pumpe 152 zugeführten Brennstoffs strömt über den Ausgang 160 wieder aus der dritten Leitung 158 heraus und in eine vierte Leitung 162 hinein. Der Ausgang 160 der Leitung 158 führt über diese vierte Leitung 162 zu einem Drosselventil 164, das wiederum über eine noch weitere Leitung 166 am Eingang 144 der Leitung 146 im unteren Anodenraum angeschlossen ist, d. h. die Leitung 166 ist stromabwärts des sich in der Leitung 140 befindlichen Einlassventils 142 am Eingang 144 der ersten Leitung angeschlossen.

[0065] Eine zusätzliche Leitung 168 zweigt von der vierten Leitung 162 ab und enthält ein Ablassventil 170, das in diesem Beispiel diskontinuierlich angesteuert wird, um den Rülpsbetrieb zur Spülung des durch die Leitungen 146, 154, 158, 162 und 166 und die Anodenströmungsfelder 40 gebildeten Brennstoffstromkreises zu realisieren.

[0066] Im Betrieb wird frischer Brennstoff über das Einlassventil 142 dem Eingang 144 der Leitung 146 im unteren Anodenraum zugeführt. Nicht verbrauchter Brennstoff, der die anodenseitigen Strömungsfelder 40 verlässt, strömt in den unteren Anodenraum 106 und wird aufgrund der Saugwirkung der Pumpe 152 durch die Öffnungen in der Leitung 146 in diese hineingesaugt und mit dem frischen Brennstoff vermischt über die Leitung 154 in die Leitung 158 im oberen Anodenraum 104 hineingedrückt. Dort verlässt ein Teil der Mischung aus frischem Wasserstoff und nicht verbrauchtem rückgeführten Wasserstoff die Leitung 158 durch die dort vorgesehenen Öffnungen 159 und strömt in die anodenseitigen Strömungsfelder 40 hinein. Dort nicht verbrauchter Wasserstoff bzw. Brennstoff tritt dann wiederum in den unteren Anodenraum 106 hinein und wird von der Pumpe 152 wie bisher beschrieben angesaugt.

[0067] Das sich auf der Anodenseite des Brennstoffzellenstapels sammelnde Wasser strömt aus den Strömungsfeldern 40 mit dem nicht verbrauchten Brennstoff und sammelt sich in der im Zusammenhang mit Fig. 9 beschriebenen Wanne 112 im unteren Bereich des unteren Anodenraums 106. Durch die Verdunstungsfläche dieses Wasser werden die sich im Anodenraum 106 befindlichen und aus den Strömungsfeldern 40 kommenden Gase stets ausreichend befeuchtet, so dass die Pumpe 152 stets homogen befeuchtete Gase in dem oberen Anodenraum 104 hineinbefördert.

[0068] Ein weiterer Teil der in der Leitung 158 strömenden Gase wird über die vierte Leitung 162 und das Drosselventil 164 dem Eingang 144 zugeführt. Durch das Drosselventil 164 können die erforderlichen Druckverhältnisse sichergestellt werden. Demnach soll der Druck P1 am Eingang 156 der Leitung 158 höher sein als der Druck P2 im oberen Anodenraum 104, damit ein Teil des zugeführten Brennstoffs in der Leitung 158 aus den Öffnungen 159 in den oberen Anodenraum 104 hineinströmen. Das Drosselventil 164 führt zu einer Verbesserung der Homogenität des aufbereiteten Anodengases und hat außerdem die Funktion, während des Rülpsbetriebs ("burp"-Betrieb) eine direkte Verbindung zwischen der Einspritzung des frischen H₂ und

dem Rülpsausgang ("burp"-Ausgang) zu verhindern, die zur Folge hätte, dass der der Anodenkreislauf nicht mit Wasserstoff gespült würde. Der Druck P4 am Ausgangsende 148 der Leitung 146 im unteren Anodenraum ist wiederum kleiner als P3, um sicherzustellen, dass nicht verbrauchter Brennstoff aus dem unteren Anodenraum 106 in die Leitung 146 hineinströmt und sich dort mit dem frisch zugeführten Wasserstoff sowie dem über das Drosselventil 164 und die Leitung 166 rückgeführten Wasserstoff vermischt. Aufgrund dieser Vermischung werden die Gase, die von der Pumpe eingesaugt werden, ausreichend befeuchtet und auf das Temperaturniveau des Brennstoffzellenstapels gebracht, so dass eine homogene Gas-, Feuchte- und Temperaturverteilung im oberen Anodenraum und den anodenseitigen Strömungsfeldern 40 erreicht wird.

[0069] Auch die Führung der Leitungen 149, 154, 162, 166 sowie die dortige Anbringung der Brennstoffzuführeinrichtung 142, der Pumpe 152 und des Drosselventils 164 an der Endplatte des Brennstoffzellenstapels hilft, eine gleichmäßige Temperaturniveau des Brennstoffs herzustellen.

[0070] Fig. 10 zeigt ferner in einer schematischen Form, die kathodenseitigen Strömungsfelder 28, die über den Kathodeneingang 100 (Fig. 6) einströmende Druckluft erhalten (Pfeil 172) und diese an den Kathodenausgang 102 (Fig. 6) weiterführen, wo sie aus dem Brennstoffzellenstapel entsprechend dem Pfeil 174 austreten. Die sich zwischen den anodenseitigen und kathodenseitigen Strömungsfeldern 40 und 28 befindlichen MEA's 16, 42, 18 sind hier lediglich schematisch dargestellt und es versteht sich, dass die Darstellung gemäß Fig. 10 eine rein zeichnerische Darstellung ist, um die Auslegung verständlicher zu machen.

[0071] Die bisherige Beschreibung der Fig. 10 ist so abgefasst worden, als ob alle dort angesprochenen Leitungen getrennte Leitungen wären, die jeweilige klar identifizierbare Eingänge und Ausgänge aufweisen. Dies ist aber nicht zwangsläufig der Fall, die Leitungen können als Leitungsabschnitte einer kontinuierlichen Leitung verstanden werden, in die lediglich getrennte Einrichtungen wie die Brennstoffzuführeinrichtung 142, die Pumpe 152, das Drosselventil 164 und das Ablassventil 170 eingeführt worden sind. Darüber hinaus können die beschriebenen Eingänge und Ausgänge so verstanden werden, dass sie lediglich den Übergangsbereich zwischen den verschiedenen Leitungsabschnitten darstellen, so beispielsweise, dass der Eingang 144 den Übergang der Leitung zum ersten Leitungsabschnitt 146, der Ausgang 148 den Übergang von der ersten Leitung 146 zu der Pumpe 152 führenden Leitung 149, der Eingang 156 den Übergang von der Leitung 154 in die dritte Leitung 158 und der Ausgang 160 den Übergang von der dritten Leitung 158 in die vierte Leitung 162 darstellt.

[0072] Weiterhin ist es nicht zwangsläufig erforderlich, dass die erste Leitung 146 und die dritte Leitung 158 durch jeweilige Rohrschleifen gebildet sind. Stattdessen könnte eine koaxiale Anordnung in Frage, wobei die Fig. 12 ein Beispiel einer koaxialen Leitung zeigt, die anstelle der ersten Leitung 146 benutzt werden kann.

[0073] Nach Fig. 12 ist die im unteren Anodenraum 106 vorgesehene Leitung 146 durch eine innere Rohrleitung 200 und eine äußere Rohrleitung 202 gebildet. Die äußere Rohrleitung hat an ihrem einen Ende den Eingang 144 für frischen Brennstoff sowie eine perforierte Wandung mit Perforationen 204, durch die von den anodenseitigen Strömungsfeldern kommender nicht verbrauchter Brennstoff entsprechend den Pfeilen 205 einsaugbar und mit dem frischen Brennstoff durch einen zwischen den beiden Rohrleitungen 200, 202 gebildeten Strömungskanal 208 zu dem dem Eingang 144 abgewandten Ende 210 der äußeren Rohrleitung 202 führbar und dort durch die Mündung 212 der inneren

Rohrleitung 200 in diese Rohrleitung 200 einspeisbar ist. Diese innere Rohrleitung 200 führt den Brennstoff zu dem benachbart zum Eingang 144 angeordneten Ausgang 148 der ersten Leitung 144.

[0074] Man merkt, dass die äußere Rohrleitung an ihrem dem Eingang 144 abgewandten Ende 210 geschlossen ist und dass das geschlossene Ende der äußeren Rohrleitung, das dem offenen Ende der inneren Rohrleitung gegenüberliegt, eine Umlenkeinrichtung 214 zur Umlenkung des in die Mündung 212 der inneren Rohrleitung 200 eintretenden Brennstoffs bei geringen Druckverlusten aufweist. Die eingezeichneten Pfeile zeigen, wie auch in Fig. 11, die Strömungsrichtungen der Gase bzw. des Brennstoffs.

[0075] Fig. 11 zeigt eine ähnliche Leitungsauslegung bei der die im obere Anodenraum 104 vorgesehene dritte Leitung 158 ebenfalls durch eine innere Rohrleitung 220 und eine äußere Rohrleitung 222 gebildet ist. Die innere Rohrleitung 220 hat an ihrem einen Ende den Eingang 150 für Brennstoff und mündet an ihrem, dem Eingang abgewandten Ende 224 innerhalb der äußeren Rohrleitung 222. Die äußere Rohrleitung 222 weist eine perforierte Wandung mit Perforationen 226 auf, durch die ein Teil des eingehenden Brennstoffs entsprechend den Pfeilen 228 austreten und in die anodenseitigen Strömungsfelder 40 eintreten kann. Ein weiterer Teil des eingehenden Brennstoffs kann durch einen zwischen den beiden Rohrleitungen gebildeten Strömungskanal 230 zum Ausgang 160 am Ende der äußeren Rohrleitung 222 benachbart zum Eingang 156 der inneren Rohrleitung 220 geführt werden und von dort weiter zum Drosselventil 164 bzw. zum Ablassventil 170.

[0076] Auch bei der koaxialen Leitung 158 der Fig. 12 weist das geschlossene Ende 232 der äußeren Rohrleitung eine Umlenkeinrichtung 234 auf, die für eine strömungsgünstige Umlenkung des aus der Mündung 236 der inneren Rohrleitung 220 austretenden Brennstoffs sorgt, so dass hier möglichst geringe Druckverluste auftreten.

[0077] Schließlich zeigt Fig. 13 eine alternative Ausbildung eines Brennstoffzellenstapels, die große Ähnlichkeiten mit dem schematisch dargestellten System der Fig. 10 aufweist, jedoch von diesem System sich dadurch unterscheidet, dass die erste Leitung im unteren Anodenraum 106 und die dritte Leitung im oberen Anodenraum 104 fehlen. Die in Fig. 13 verwendeten Bezugszeichen sind aber ansonsten die gleichen wie in Fig. 10, so dass die bisherige Beschreibung, die für Fig. 10 gegeben wurde, auch für Fig. 13 gilt und daher nicht extra betont werden muss. Auch ohne eine erste Leitung und eine dritte Leitung gelingt es, durch angepasste Abmessung der Strömungsquerschnitte im Leitungssystem sowie in den Strömungsfeldern 40 eine Situation zu erreichen, bei der der frische, über das Einlassventil 142 zugeführte Brennstoff mit dem aus der Leitung 166 kommenden Brennstoff in den unteren Anodenraum 106 eintritt und sich dort mit dem nicht verbrauchten Brennstoff, der aus den anodenseitigen Strömungsfeldern 40 austritt, weiter vermischt und dann von der Pumpe durch den Ausgang 148 eingesaugt und in den oberen Anodenraum 104 eingespeist werden. Dort strömt ein Teil des Brennstoffs in die anodenseitigen Strömungsfelder 40 hinein, während ein weiterer Teil in die vierte Leitung 162 gelangt. Dort strömt er über das Drosselventil 164 und die weitere Leitung 166 weiter und wird mit dem frischen Brennstoff, der über das Einlassventil 142 eingespeist wird, vermischt. Durch die Vermischung im unteren Anodenraum 106 wird sichergestellt, dass die Gase, die in den oberen Anodenraum 104 eingespeist werden und daher in die anodenseitigen Strömungsfelder 40 eintreten, eine gleichmäßige Temperatur und Feuchteverteilung aufweisen. Auf diese Weise kann es auch ohne Hilfe einer ersten Leitung 146 und einer dritten Lei-

tung 158 gelingen, die Erfindung zu realisieren.

[0078] Eine weitere Abwandlungsmöglichkeit bestünde darin, den Eingang 156 in den oberen Anodenraum 104 sowie den Ausgang 160 aus dem oberen Anodenraum 104 auf entgegengesetzten Seiten des oberen Anodenraumes 104 vorzusehen und eine entsprechende Anordnung ist auch für den Eingang 144 zum unteren Anodenraum 106 und dem Ausgang aus dem unteren Anodenraum 106 möglich. Eine solche Anordnung wäre auch bei Verwendung einer ersten Leitung 146 im unteren Anodenraum und einer dritten Leitung 158 im oberen Anodenraum möglich.

[0079] Simulationen haben gezeigt, dass die Rückführung von Brennstoff von dem oberen Anodenraum in den unteren Anodenraum über das Drosselventil lediglich einen kleinen Vorteil bringt und dass diese Rückführung nicht essentiell ist. Im Gegensatz dazu muss der frisch zugeführte Brennstoff in den unteren Anodenraum zugeführt werden, wo er mit dem nicht verbrauchten feuchten Brennstoff vermischt wird, der von den anodenseitigen Strömungsfeldern kommt, und wo er befeuchtet und konditioniert wird, bevor dieses Brennstoffgemisch über die Pumpe in den oberen Anodenraum eingeführt wird.

[0080] Fig. 14 zeigt ein Brennstoffzellensystem in einer schematischen Darstellung ähnlich der von Fig. 13, bei der aber auf die Brennstoffrückführung von dem oberen Anodenraum in den unteren Anodenraum über die Drossel verzichtet ist.

[0081] Die meisten Bezugszeichen, die in Fig. 14 und in den weiteren Figuren zur Bezeichnung spezieller Gegenstände und Merkmale der Ausführungsformen verwendet werden, sind die gleichen Bezugszeichen, die in den vorherigen Figuren zur Bezeichnung der gleichen Gegenstände oder Merkmale oder von Gegenständen und Merkmalen mit der gleichen Funktion verwendet wurden. Die voranstehend für diese Bezugszeichen gegebene Beschreibung soll in gleicher Weise für die weiteren Ausführungsformen als zutreffend anzusehen sein, sofern nichts Gegenteiliges angegeben wird.

[0082] Bei der Ausführungsform von Fig. 14 wird der frische Brennstoff über die Leitung 140 und das Einlassventil 142 dem Einlass 144 zugeführt, der auf einer von dem Auslass 148 gegenüberliegenden oder verschiedenen Seite des unteren Anodenraums 106 angeordnet ist, wobei der Auslass 148 über die Leitung 149 zu der Rezirkulationspumpe 152 führt. Auf diese Weise saugt die Rezirkulationspumpe 152 von dem unteren Anodenraum 106 sowohl frischen trockenen Wasserstoff, der von dem Ventil 142 kommt, als auch den Wasserstoff, Stickstoff und Wasserdampf an, die aus den anodenseitigen Strömungsfeldern 40 austreten. Die Pumpe 152 befördert die resultierende Gasmischung über die Leitung 154 in den oberen Anodenraum 104. Als Folge der durch die Rezirkulationspumpe 152 erzeugten Druckdifferenz strömt diese Gasmischung dann durch die Anodenströmungsfelder 40 hindurch und zurück in den unteren Anodenraum 106, mit Ausnahme eines Anteils des Wasserstoffs, der in Form von Protonen durch die Membrane der MEAs zu dem Sauerstoff wandert, der in den kathodenseitigen Strömungsfeldern 28 des Brennstoffzellensystems strömt. Es ist leicht zu verstehen, dass die Rezirkulationspumpe 152 in der Lage ist, eine ausreichende Druckdifferenz zu erzeugen, um eine Strömung durch die Anodenströmungsfelder 40 in der gewünschten Richtung sicherzustellen, und dass die Feuchtigkeit, die durch die aus den Anodenströmungsfeldern austretenden Gase mitgeführt wird, verwendet wird, um das frische, von dem Zufuhrventil 142 erhaltene Gas zu befeuchten.

[0083] Das Ablassventil 170, das verwendet wird, um einen Teil des in den Anodenkreislauf strömenden Gases aus

dem Anodenkreislauf abzulassen oder auszurülpfen, ist bei dieser Ausführungsform vorzugsweise an dem unteren Anodenraum 106 vorgesehen, beispielsweise in der gezeigten Position oder alternativ oberhalb des Einlasses von dem Zufuhrventil 142. Es kann vorteilhaft sein, im Inneren des Anodenraums ein Ablenkplattensystem vorzusehen, um zu verhindern, dass frisches, aus dem Ventil 142 kommendes Gas direkt in das Ablassventil 170 strömt und aus dem Anodenkreislauf abgelassen wird, da die Idee darin besteht, den Anodenkreislauf mit frischem Wasserstoff aus dem Zufuhrventil 142 zu spülen und anodenseitige Abgase mit einem hohen Stickstoffanteil abzulassen.

[0084] Bei der Ausgestaltung von Fig. 14 ist eine feststehende Ablenkplatte 171 vorgesehen, die sich unter einem schrägen Winkel von dem Ausgang, der zu dem Rülpsventil führt, nach unten erstreckt und die durch eine Klappe 173 ergänzt wird, die von einem Drehpunkt aus nach unten geneigt ist, der sich an der Seitenwand des unteren Anodenraums 106 befindet, die dem zu dem Rülpsventil führenden Ausgang gegenüber gelegen ist. Wenn das Rülpsventil geschlossen ist, hält eine optionale Feder 175 die Klappe 173 ungefähr in der gezeigten Position. Die schrägen Stellungen der Ablenkplatte 171 und der Klappe 173 ermöglichen es flüssigem Wasser 296, in die Sammelkammer abzulaufen. Sie ermöglichen es außerdem aus den Anodenströmungsfeldern austretenden Gasen, zu dem Ausgang 148 zu strömen, der zu der Rezirkulationspumpe führt, und frischem Brennstoff, von dem Eingang 144 zu dem Ausgang 148 zu strömen. Wenn das Rülpsventil geöffnet wird, reduziert sich der Druck in dem Raum oberhalb der Ablenkplatte 171 und der Klappe 173, und die Klappe 173 schwenkt in die durch die gestrichelte Linie angedeutete Stellung 173', was durch den Druck des eintretenden Brennstoffs unterstützt wird. In der durch die gestrichelte Linie angedeuteten Stellung 173' isoliert die Klappe 173 die obere Hälfte des unteren Anodenraums von der unteren Hälfte und stellt sicher, dass im Wesentlichen der gesamte eintretende Brennstoff von der Pumpe aufgenommen wird und durch diese in den oberen Anodenraum und durch die Anodenströmungsfelder 40 gezwungen wird, bevor er durch das Rülpsventil 170 abgelassen wird. Auf diese Weise wird der gesamte Anodenkreislauf wirksam mit frischem Brennstoff gespült. Die Klappe 173 wirkt somit als ein Rückschlagventil. Diese Rückschlagventilanordnung kann auch in der Ausführungsform von Figur 15 verwendet werden, sie wurde aber aus Gründen der Einfachheit in der Zeichnung weggelassen. Außerdem kann ein der Klappe 173 ähnliches Rückschlagventil in der Ausführungsform von Fig. 16 am Ausgang 290 eingesetzt werden, der von dem unteren Anodenraum 106 in den Behälter 292 führt.

[0085] Darüber hinaus zeigt die Ausführungsform von Fig. 14 einen Hauptkühlkreislauf 250 mit einer Kühlmittel-auslassleitung 252, die zu einem Kühler, d. h. einem Wärmetauscher 254, führt, wobei der Auslass des Kühlers über die Leitung 256 zu einer Kühlmittelpumpe 258 führt, die das Kühlmittel unter Druck über die Einlassleitung 260 zurück in die Kühlmittelpassagen in den bipolaren Platten einführt, die mit der Membranelektrodenanordnung verbunden sind. Kühlmittelkreisläufe dieser Art sind an sich wohl bekannt. Üblicherweise dient ein Ventilator 262 dazu, eine Kühlluftströmung durch den Kühler 254 zu erzeugen, um das heiße Kühlmittel zu kühlen, das aus dem Brennstoffzellenstapel austritt.

[0086] Das Bezugszeichen 264 zeigt eine Bypassschleife, die parallel mit dem Hauptkühlkreislauf 250 verbunden ist, wobei diese Bypassschleife ein Ventil 266 und eine Hilfspumpe 268 enthält, die, wenn das Ventil 266 vollständig oder teilweise geöffnet ist, in der Lage ist, eine Zufuhr von

heißem Kühlmittel durch die Leitung 270 zu einer Wärmetauscherschleife oder -schleifen 272 zu befördern, die in dem Schaummaterial 114 angeordnet ist bzw. sind, das in dem Sammeltrug 112 unten im Anodenraum 106 vorgesehen ist. Kühlmittel, das die Wärmetauscherschleife oder -schleifen 272 verlässt, strömt über die Leitung 274 zurück in die Leitung 256 und wird dann über die Pumpe 258 wieder durch den Kühlkreislauf in dem Brennstoffzellenstapel geführt. Entweder das Ventil 266 und/oder die Pumpe 268 kann gesteuert werden, um die Wärmemenge zu bestimmen, die über die Wärmetauscherschleife oder -schleifen 272 in das poröse Material 114 eingeführt wird. Man hat nämlich herausgefunden, dass unter bestimmten Bedingungen und bei bestimmten Ausgestaltungen eine angemessene Verdunstung von Wasser, das sich in dem porösen Material 114 sammelt, zur angemessenen Befeuchtung der in dem Anodenkreislauf strömenden Gase nur erreicht werden kann, wenn die Temperatur des Wassers in dem porösen Material 114 leicht erhöht wird. Die Verwendung von Wärme (Abwärme) aus dem Kühlkreislauf 250 ist eine wirksame Art, dieses weitere Aufheizen zu schaffen.

[0087] Darüber hinaus sollte angemerkt werden, dass es nicht unbedingt erforderlich ist, ein separates Ventil 266 und eine separate Pumpe 268 vorzusehen, um der Wärmetauscherschleife oder den Wärmetauscherschleifen 272 Kühlmittel zuzuführen. Stattdessen könnte die Leitung 270 von der Leitung 250 stromaufwärts von der Pumpe 258 abzweigen, so dass die Pumpe 258 einen Teilstrom durch die Leitung 270 in die Wärmetauscherschleife 272 hineinbefördert und einen weiteren Teilstrom durch den Kühler 254 befördert. Auch diese Anordnung stellt sicher, dass der Wärmetauscherschleife oder den Wärmetauscherschleifen 272 heißes Kühlmittel zugeführt wird oder werden. Eine weitere Möglichkeit bestünde darin, die Pumpe 258 in der Auslassleitung 252 des Hauptkühlkreislaufs zu plazieren und die Leitung 270 so anzuordnen, dass sie nach der Pumpe abzweigt. Die Rückführleitung 274 könnte dann in die Leitung 260 oder stromaufwärts von der Pumpe in die Leitung 252 übergehen. Es wäre auch möglich, einen Teil der Kühlmittelströmung intern abzuzweigen, d. h. in dem Brennstoffzellenstapel selbst, vorzugsweise gerade bevor sie aus dem Brennstoffzellenstapel austritt, und den Teil direkt in die Wärmetauscherschleife oder -schleifen 272 einzuleiten.

[0088] Anstatt einen einfachen Strömungsteiler oder eine Abzweigung nach einer der voranstehend genannten Arten zu verwenden, könnte alternativ ein Ventil (nicht gezeigt) vorgesehen sein, das derart ausgebildet sein kann, dass es die Strömung durch die Wärmetauscherschleife oder die Wärmetauscherschleifen 272 wie erforderlich variiert und insbesondere diese Strömung stoppt, wenn sie nicht erforderlich ist. Andere Anordnungen sind ebenfalls möglich. Auf diese Weise tragen diese Ausführungsformen der Tatsache Rechnung, dass es von Vorteil sein kann, das in dem Trug oder in einem dort vorgesehenen Schaummaterial befindliche Wasser aufzuheizen, um die Temperaturniedrigung durch Verdunstung auszugleichen, d. h. um einen höheren Verdunstungsgrad zu erreichen.

[0089] Die Zufuhr von erforderlicher Wärme kann somit über einen Wärmetauscher oder, wie gezeigt, über eine Wärmetauscherschleife stattfinden.

[0090] Alternativ oder zusätzlich kann sie elektrisch stattfinden, wie weiter unten im Zusammenhang mit Fig. 16 beschrieben wird.

[0091] Fig. 15 zeigt eine Weiterentwicklung der Ausführungsform von Fig. 14 und unterscheidet sich von der Ausführungsform von Fig. 14 im Wesentlichen nur darin, dass ein Rohrabschnitt 280 vorgesehen ist, der sich von dem Einlass 144, von dem Brennstoffzufuhrventil 142 in den Ano-

denraum 106, zu dem Auslass 148 erstreckt, der über die Leitung 194 zu der Rezirkulationspumpe 152 führt. Das Rohr 280 weist mehrere Öffnungen 282 oder eine poröse Wand auf, so dass angefeuchtete Gase, die aus den anodenseitigen Strömungsfeldern 40 austreten, auf die durch die Pfeile 284 gezeigte Art durch die Öffnungen 282 angesaugt werden und in der Leitung 194 und durch die Wirkung der Pumpe 152 mit dem frischen Wasserstoff vermischt werden, der über das Zufuhrventil 142 zugeführt wird.

[0092] Es wird angemerkt, dass das Überfluss- und Abflusssystem, das im Zusammenhang mit Fig. 9 beschrieben wurde, auch bei den Ausführungsformen von Fig. 14, 15 (und 16) vorgesehen sein kann, der Einfachheit halber aber in der Darstellung weggelassen wurde, um die Zeichnung nicht unnötig zu verkomplizieren.

[0093] Fig. 16 zeigt noch eine weitere modifizierte Variante der Ausführungsform von Fig. 13, bei der mehrere wichtige Unterschiede festgestellt werden können.

[0094] Als erstes wurde der untere Anodenraum 106 in eine im Wesentlichen trichterartige Struktur mit einem Auslassrohr 290 umgewandelt, das in einen separaten Wassersammeltank 292 führt. Den Wassersammeltank 292 kann man sich als von dem unteren Anodenraum 106 separat vorstellen, er steht aber nichts desto trotz in Strömungsverbindung mit dem Anodenraum 106 und bildet somit praktisch einen Teil desselben.

[0095] Bei dieser Ausführungsform befindet sich das poröse Material 114 zum Speichern von flüssigem Wasser in dem separaten Sammeltrug 292, und es ist bis zu der Höhe 120 mit flüssigem Wasser 296 aufgefüllt, das über das Auslassrohr 290 in den Tank 292 abläuft.

[0096] Darüber hinaus führt das Brennstoffzufuhrventil 142 frischen Brennstoff über den Einlass 114 in den Raum oberhalb des porösen Materials in den Wassersammeltank 292 ein. Alternativ könnte es den frischen Wasserstoff direkt in die Flüssigkeit einleiten, die in dem porösen Material enthalten ist. Tatsächlich existiert diese Möglichkeit auch bei der Ausführungsform von Fig. 14.

[0097] Das Auslassrohr 290 aus dem Anodenraum 106 ist ausreichend groß ausgebildet, so dass die Gase, die aus den Anodenströmungsfeldern 40 austreten, alle ohne einen signifikanten Druckabfall leicht in den Raum oberhalb des porösen Materials 114 in den Tank 292 strömen können. Über die Rezirkulationspumpe 152 können sie dann durch den Auslass 148 aus dem Sammeltrug 292 in die Leitung 149 gesaugt werden und wie zuvor in den oberen Anodenraum 104 eingeführt werden.

[0098] Das Ausstoßventil 170 ist bei dieser Ausführungsform bequemerweise mit dem unteren Anodenraum 106 verbunden. Alternativ könnte es auch mit dem Gasraum in dem Sammeltrug 292 kommunizieren.

[0099] Wie bei dieser Ausführungsform gezeigt ist, wird die Vorrichtung zur Aufheizung des in dem porösen Material 114 gespeicherten Wassers hier als ein elektrisches Heizelement realisiert, das mit Strom versorgt werden kann, der durch das Brennstoffzellensystem und/oder durch eine Batterie (nicht gezeigt) erzeugt wird. Diese Alternative könnte auch bei den anderen Ausführungsformen anstelle der Flüssigkühlmittelschleife verwendet werden, die mit Bezug auf Fig. 14 und 15 beschrieben wurde. Alternativ könnten die mit Bezug auf Fig. 14 und 15 beschriebenen Flüssigkühlmittelmöglichkeiten bei der Ausführungsform von Fig. 16 als Alternative 2 zu dem elektrischen Heizsystem verwendet werden oder sogar zusätzlich zu diesem, wenn es, aus welchem Grund auch immer, für nötig erachtet wird, beispielsweise beim Anlassen, wenn das Kühlmittel zu kalt ist.

[0100] Auch bei der Ausführungsform von Fig. 16 kann ein Rohr, wie beispielsweise 280 in Fig. 15, verwendet wer-

den, um den Einlass 144 mit dem Auslass 148 zu verbinden. [0101] Zusätzlich kann der Sammelkammer 292 mit einem Überflus- und Ablaufsystem in einer Art und Weise versehen sein, wie sie in Zusammenhang mit Fig. 9 beschrieben wurde.

[0102] Die Ausführungsform von Fig. 16 zeigt außerdem, dass der Boden des Tanks 292 geneigt ausgebildet ist und am Auslass mit einem Ablaufventil 294 versehen ist. Dieses Ablaufventil 294 könnte geöffnet werden, sobald das Fahrzeug geparkt wurde, um das Wasser von den anodenseitigen Strömungsfeldern abzulassen, falls die Gefahr besteht, dass dieses Wasser in unerwünschter Weise gefriert. Das Ablaufventil 294 könnte auch mit einem geeigneten Steuersystem verwendet werden, anstelle des Ablaufventils 128 von Fig. 9, um die Wasserhöhe 120 zumindest im Wesentlichen konstant zu halten. Ein derartiger schiefer Boden mit einem Ablaufventil 294 könnte, falls erwünscht, auch in den anderen beschriebenen Ausführungsformen verwendet werden.

[0103] Fig. 17 zeigt eine weitere interessante Möglichkeit zur Realisierung der Erfindung. In Fig. 17 werden die gleichen Bezugszeichen, wie sie für die relevanten Komponenten in den anderen Ausführungsformen oder für Komponenten mit der gleichen oder einer vergleichbaren Funktion verwendet wurden, zur Bezeichnung von Komponenten verwendet, die auch in den anderen Ausführungsformen vorkommen. Sofern nichts Gegenteiliges angeführt wird, soll die für solche Komponenten gegebene Beschreibung auch für die Ausführungsform von Fig. 17 gelten. Tatsächlich gilt dies für die Beschreibung aller Ausführungsformen.

[0104] Es wurde bereits voranstehend bemerkt, dass die Verwendung eines oberen Anodenraums und eines unteren Anodenraums nicht notwendigerweise bedeutet, dass die Brennstoffzellen 11 vertikal in dem Brennstoffzellenstapel orientiert sein müssen. Fig. 17 zeigt eine Anordnung, bei der die Brennstoffzellen 11 horizontal angeordnet sind und sich zwischen einem Anodeneinlassraum 104 an einem Seitenbereich des Brennstoffzellenstapels und einem Anodenauslassraum 106 an einer zweiten und in diesem Fall gegenüberliegenden Seite des Brennstoffzellenstapels erstrecken. Sie könnten von dem Anodeneinlassraum 104 auch schräg nach unten geneigt zu dem Anodenauslassraum 106 angeordnet sein. In beiden Fällen fördert die Strömung von Gasen durch die Strömungsfelder eine Bewegung von flüssigem Wasser in den Anodenauslassraum hinein.

[0105] Bei der Ausführungsform von Fig. 17 ist der Anodenauslassraum 106 nach unten ausgedehnt, um die Sammelkammer 292 zu bilden, die eine separate Sammelkammer, wie es in Verbindung mit Fig. 16 beschrieben ist, oder ein Einsatz für einen Anodenauslassraum sein kann, wie es in Verbindung mit den anderen Ausführungsformen beschrieben ist. Die Bereitstellung der Sammelkammer unter der untersten Brennstoffzelle des Stapels begünstigt den Ablauf von flüssigem Wasser zum untersten Punkt des Systems.

[0106] Die Rezirkulationspumpe 152 oder zumindest der Ausgang 148 von dem Anodenauslassraum ist vorzugsweise oberhalb des maximalen Niveaus von Wasser in der Sammelkammer angeordnet, um zu verhindern, dass die Pumpe 152 flüssiges Wasser ansaugt (dies berücksichtigt außerdem eine mögliche Neigung des Brennstoffzellenstapels bei einem Betrieb in einem Fahrzeug). Das Bezugszeichen 173 bezeichnet wiederum eine verschwenkbare Klappe, die ein Rückschlagventil bildet, das während des Rülpsbetriebs, bei dem die Klappe 173 die Stellung 173' einnimmt, einen "Kurzschluss" von frischem, aus dem Eingang 144 einströmenden Brennstoff direkt in das Rülpsauslassventil 170 verhindert. Das Rülpsauslassventil 170 ist bei dieser Ausführungsform an den Anodenauslassraum 106 oberhalb der

Klappe 173 angeschlossen. Auf diese Weise stellt die Klappe 173 wiederum sicher, dass der gesamte Anodenkreislauf mit frischem Brennstoff gespült werden kann.

[0107] Es sollte bemerkt werden, dass der obere Anodenraum 104 bei den anderen Ausführungsformen ebenfalls als ein Anodeneinlassraum angesehen werden kann, der in einem ersten Seitenbereich des Brennstoffzellenstapels angeordnet ist, und dass der untere Anodenraum 106 auf ähnliche Weise als ein Anodenauslassraum angesehen werden kann, der in einem zweiten, gegenüberliegenden Seitenbereich des Brennstoffzellenstapels angeordnet ist.

[0108] Die voranstehend beschriebenen Anordnungen weisen mehrere wichtige Vorteile auf.

[0109] Als erstes ermöglicht es das beschriebene System, die Einlassfeuchtigkeit an der Anodenseite und die Strömungsgeschwindigkeit an der Anodenseite des Brennstoffzellenstapels separat, d. h., unabhängig einzustellen.

[0110] Zweitens wird das Wasser, das früher ausgesondert wurde, zurück in die Gasphase in dem Anodenkreislauf geführt und für die Befeuchtung des Anodengases verwendet.

[0111] Drittens besteht die Möglichkeit des Ankoppelns der Temperatur des Anodengases an die Kühlmittelauslass-temperatur, wodurch die Befeuchtung des Anodengases bei einer erheblichen Einsparung von Energie erhöht wird.

[0112] Viertens kann der frühere externe Wasserseparator vermieden werden, und die Funktion eines Mischers, der früher verwendet wurde, um frisches Brennstoffgas mit den rezirkulierten Anodengasen zu vermischen, ist in den Stapel integriert und ohne Notwendigkeit einer separaten Einrichtung realisiert.

[0113] Fünftens kann die Rezirkulationspumpe kleiner ausgebildet werden, und es kann auf einen Wärmetauscher zwischen der Rezirkulationspumpe und dem Stapel verzichtet werden.

[0114] Es ist einzusehen, dass der untere Anodenraum immer befeuchtet ist, da das im Betrieb aus den Anodenströmungsfeldern austretende Gas befeuchtet wird und da das Wasser, das in flüssiger Form erscheint, sich als ein Bodenbad in dem unteren Anodenraum sammelt und durch Verdunstung zur Befeuchtung der im Anodenkreislauf strömenden Gase beiträgt. Indem ein poröses Medium, das mit dem Wasser gesättigt ist, in dem Bodenbad vorgesehen wird, kann die Oberfläche, von der die Verdunstung stattfindet, erhöht werden, und somit kann auch die Befeuchtungsleistung erhöht werden. Dieses poröse Medium sollte in einem Trog liegen, der temperaturstabil und vorzugsweise nichtleitend ist. Ein Ablassventil am tiefsten Punkt der Konstruktion kann dazu dienen, das Wasser abzulassen, nachdem das System abgeschaltet wurde, um ein Gefrieren dieses Wassers zu verhindern.

[0115] Sollte das flüssige Wasser, das vorkommt, nicht ausreichen, um die an der Anodenseite strömenden Gase zu befeuchten, kann von der Kathodenseite des Brennstoffzellensystems separates Produktwasser entnommen werden und beispielsweise über eine Pumpen- und Düsenanordnung auf das poröse Medium gesprüht, fein verstaubt oder vernebelt werden. Alternativ könnte dies auch gemacht werden, bevor der Wasserstoff in den unteren Anodenverteiler eingeleitet wird, d. h. indem das zusätzliche Wasser zusammen mit dem frischen Wasserstoff zugeführt wird, um zusätzlich ein Vorheizen des Wasserstoffs zu erreichen. Auf diese Weise kann es ebenfalls vorteilhaft sein, zusätzliches Wasser in der unteren Anodenraum und somit in den Trog oder in den Schwamm einzuführen, um immer eine angemessene Befeuchtung sicherzustellen. Zu diesem Zweck kann beispielsweise Wasser verwendet werden, das auf der Kathodenseite gesammelt wurde.

[0116] Falls eine weitere Erhöhung der Befeuchtungslei-

stung erforderlich ist, dann kann das poröse Medium zusätzlich aufgeheizt werden. Dieses Heizen kann entweder elektrisch gemacht werden, was den Nachteil hat, dass es zu einer leichten Erniedrigung der Gesamtleistung des Brennstoffzellensystems führt, oder ein Teil der Kühlmittelströmung kann in einer Wärmetauscherschleife durch das poröse Medium geleitet werden, um das poröse Medium und das darin enthaltene Wasser aufzuheizen. Denkbar ist auch eine Kombination dieser beiden Möglichkeiten.

[0117] Wenn die Rückführung weggelassen wird, kann das Ablassventil für den Rülpsbetrieb an den unteren Anodenraum angeschlossen werden.

[0118] Bei der vorliegenden Erfindung muss die Pumpe im Prinzip nur ausgelegt werden, um die gewünschte Strömung durch die anodenseitigen Strömungsfelder sowie den Abtransport von flüssigem Wasser aus den anodenseitigen Strömungsfeldern sicherzustellen, nicht aber eine große Brennstoffmenge umzuwälzen, um hierdurch eine Befeuchtung des frischen Brennstoffs sicherzustellen, da erfindungsgemäß die Befeuchtung des frisch zugeführten Wasserstoffs im unteren Anodenraum durch den besonders vorgenommenen Verdunstungsvorgang erfolgt. Hierdurch kann die Pumpe wesentlich kleiner dimensioniert werden und benötigt wesentlich weniger Energie für ihren Antrieb.

Patentansprüche

1. Brennstoffzellenstapel, der aus mehreren zusammengeschlossenen Brennstoffzellen besteht, die jeweils eine Anode (18) und eine Kathode (16) sowie eine dazwischen angeordnete Membran (42) aufweisen, die zwischen zwei bipolaren Platten (10) angeordnet sind, wobei die Anodenseiten der einzelnen Brennstoffzellen Strömungsfelder (40) für einen den Brennstoffzellen zugeführten gasförmigen Brennstoff und die Kathodenseiten der einzelnen Brennstoffzellen Strömungsfelder (28) für ein den Brennstoffzellen zugeführtes gasförmiges Oxidationsmittel aufweisen und der Brennstoff und das Oxidationsmittel an Katalysatormaterial innerhalb der Brennstoffzellen zur Erzeugung von elektrischer Energie bei gleichzeitiger Produktion von Wasser reagieren, wobei die anodenseitigen Strömungsfelder (40) sich zwischen einem im Brennstoffzellenstapel oben angeordneten Anodenraum (104) und einem im Brennstoffzellenstapel unten angeordneten Anodenraum (106) erstrecken, **dadurch gekennzeichnet**, dass im unten angeordneten Anodenraum (106) ein Sammelbehälter (112) für während der elektrochemischen Reaktion erzeugtes und in Form einer Flüssigkeit vorliegendes Wasser vorgesehen ist und das dort gesammelte Wasser eine Verdunstungsfläche (120) aufweist und der Befeuchtung des dem Brennstoffzellenstapel zugeführten Brennstoffs dient.
2. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Sammelbehälter (112) ein poröses Material (114) zur Aufnahme des Wassers und zur Vergrößerung der Verdunstungsfläche umfasst.
3. Brennstoffzellenstapel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Sammelbehälter (112) eine Einrichtung (118, 116, 130, 128) zum Ablassen von Flüssigkeit umfasst.
4. Brennstoffzellenstapel nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Sammelbehälter (112) als Einschub ausgebildet ist.
5. Brennstoffzellenstapel insbesondere nach einem der vorhergehenden -Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Leitungssystem vorgesehen ist, mit mindestens einer ersten Leitung (146), die sich im unteren

Anodenraum (106) befindet und einen Eingang (144) und einen Ausgang (148) aufweist, der über eine Pumpe (152) und eine zweite Leitung (154) zum oberen Anodenraum (104) führt und dass das Leitungssystem angelegt ist, um aus den anodenseitigen Strömungsfeldern (40) und vom unteren Anodenraum (106) kommenden, befeuchteten noch nicht verbrauchten Brennstoff in den oberen Anodenraum (104) im Sinne einer Brennstoffrückführung einzuspeisen.

6. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die im unteren Anodenraum (106) vorgesehene Leitung (146) mindestens eine Öffnung (147) zur Aufnahme von befeuchtetem Brennstoff aus dem unteren Anodenraum (106) aufweist.

7. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Eingang der im unteren Anodenraum (106) vorgesehenen Leitung (146) einen Brennstoffeingang für frischen Brennstoff bildet.

8. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine Brennstoffzuführeinrichtung (142) dem genannten Eingang (144) vorgeschaltet ist.

9. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennstoffzuführeinrichtung (142) am genannten Eingang (144) vorgesehen ist.

10. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennstoffzuführeinrichtung (142) durch eine der nachfolgenden Einrichtungen gebildet ist: Digitalventil, Proportionalventil, Stellventil und Injektor.

11. Brennstoffzellenstapel nach einem der Ansprüche 5 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das Leitungssystem eine Ablassereinrichtung (170) zum kontinuierlichen oder diskontinuierlichen Ablassen mindestens eines Anteils der anodenseitig strömenden Gase aufweist.

12. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Ablassereinrichtung (170) durch eine der nachfolgenden Einrichtungen gebildet ist: Auslassventil, Digitalventil und Injektor.

13. Brennstoffzellenstapel nach einem der Ansprüche 5 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Leitungssystem mindestens einen Eingang (156) und einen Ausgang (160) aufweisende dritte Leitung (158) im oberen Anodenraum aufweist und in der dritten Leitung mindestens eine Öffnung (159) vorgesehen ist, um aus der zweiten Leitung (154) kommenden Brennstoff in den oberen Anodenraum (104) einströmen zu lassen und dass der Ausgang der dritten Leitung (160) über eine vierte Leitung (162, 166) mit dem Eingang (144) der ersten Leitung (146) im unteren Anodenraum (106) kommuniziert.

14. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass ein Drosselventil (164) in der vierten Leitung vorgesehen ist.

15. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Ablassereinrichtung (170) an die vierte Leitung (162) stromaufwärts des Drosselventils angeschlossen ist.

16. Brennstoffzellenstapel nach einem der Ansprüche 5 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Leitung (140) im unteren Anodenraum (106) die Form von mindestens einer Schleife aufweist.

17. Brennstoffzellenstapel nach einem der Ansprüche 5 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die dritte Leitung (158) im oberen Anodenraum (104) die Form von zumindest einer Schleife aufweist.

18. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die erste Leitung (146) im unteren

ren Anodenraum (106) durch eine Rohrleitung mit perforierter Wandung gebildet ist.

19. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die dritte Leitung (158) im oberen Anodenraum (104) durch eine Rohrleitung mit perforierter Wandung gebildet ist.

20. Brennstoffzellenstapel nach einem der Ansprüche 5 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens die im unteren Anodenraum (106) vorgesehene erste Leitung (146) an einer Endplatte (134) des Brennstoffzellenstapels befestigt ist.

21. Brennstoffzellenstapel nach einem der Ansprüche 5 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die erste, im unteren Anodenraum (106) vorgesehene Leitung (146) durch eine innere Rohrleitung (200) und eine äußere Rohrleitung (202) gebildet ist, wobei die äußere Rohrleitung (202) an ihrem einen Ende den Eingang (144) für frischen Brennstoff und eine perforierte Wandung (204) aufweist, durch die von den Strömungsfeldern (40) kommender, nicht verbrauchter Brennstoff eingesaugbar und mit dem frischen Brennstoff durch einen zwischen den beiden Rohrleitungen gebildeten Strömungskanal (208) zu dem dem Eingang abgewandten Ende (210) der äußeren Rohrleitung (202) führbar und dort in die innere Rohrleitung (200) einspeisbar ist, die den Brennstoff zu dem nahe dem Eingang (144) angeordneten Ausgang (148) führt.

22. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass die äußere Rohrleitung (202) an ihrem dem Eingang abgewandten Ende (210) geschlossen ist.

23. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass das geschlossene Ende (210) der äußeren Rohrleitung (202) einem offenen Ende (212) der inneren Rohrleitung (200) gegenüberliegt und eine Umlenkeinrichtung (214) zur Umlenkung des in das offene Ende (212) eintretenden Brennstoffs bei geringen Druckverlusten aufweist.

24. Brennstoffzellenstapel nach einem der Ansprüche 5 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die im oberen Anodenraum (104) vorgesehene dritte Leitung (158) durch eine innere Rohrleitung (220) und eine äußere Rohrleitung (222) gebildet ist, wobei die innere Rohrleitung an ihrem einen Ende den Eingang (156) für Brennstoff aufweist und an ihrem, dem Eingang abgewandten Ende (224) innerhalb der äußeren Rohrleitung (222) mündet, die eine perforierte Wandung (226) aufweist durch die ein Teil des eingehenden Brennstoffs in die anodenseitigen Strömungsfeldern (40) eintreten kann, wobei ein weiterer Teil des eingehenden Brennstoffs durch einen zwischen den beiden Rohrleitungen gebildeten Strömungskanal (230) zum Ausgang (160) an dem Ende der äußeren Rohrleitung (222) benachbart zum Eingang (156) der inneren Rohrleitung (220) führbar ist.

25. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass die äußere Rohrleitung (222) an ihrem dem Ausgang abgewandten Ende (232) geschlossen ist.

26. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass das geschlossene Ende (232) der äußeren Rohrleitung (222) der Mündung (236) der inneren Rohrleitung gegenüberliegt und eine Umlenkeinrichtung (234) zur Umlenkung des aus der Mündung austretenden Brennstoffs bei geringen Druckverlusten aufweist.

27. Brennstoffzellenstapel nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Leitungssystem wie folgt

ausgelegt ist:

der frische Brennstoff wird über die Brennstoffzuführeinrichtung (142) dem Eingang (144) der ersten Leitung (146) im unteren Anodenraum (106) zugeführt, nicht verbrauchter Brennstoff, der die anodenseitigen Strömungsfelder (40) verlässt, strömt durch mindestens eine Öffnung (147) der ersten Leitung in diese hinein und zusammen mit dem frischen Brennstoff weiter über die Pumpe (152) und die zum oberen Anodenraum (104) führende zweite Leitung (154) in den Eingang (156) der dritten, sich im oberen Anodenraum (104) befindlichen Leitung (146) hinein, ein erster Teil des in die dritte Leitung (158) eintretenden Brennstoffs strömt aus der mindestens einen Öffnung (159) dieser dritten Leitung (158) in den oberen Anodenraum (104) und in die anodenseitigen Strömungsfelder (40) hinein, wobei in den Brennstoffzellen nicht verbrauchter Brennstoff durch die anodenseitigen Strömungsfelder (40) in den unteren Anodenraum (106) gelangt, und ein zweiter Teil des in die dritte Leitung (158) eingehenden Brennstoffs strömt durch das Drosselventil (164) und eine weitere Leitung (166) zum Eingang (144) der im unteren Anodenraum (106) vorgesehenen ersten Leitung (146) auf der stromabwärtigen Seite der Brennstoffzuführeinrichtung (142), wobei eine Abzweigung zu der Ablassereinrichtung (170) zum kontinuierlichen oder diskontinuierlichen Ablassen eines Teils der anodenseitig zirkulierenden Gase führt.

28. Brennstoffzellenstapel insbesondere nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der obere Anodenraum (104) einen Eingang (156) für gasförmigen Brennstoff, der in den oberen Anodenraum (104) eingeführt wird sowie einen Ausgang (160) für einen Teil dieses gasförmigen Brennstoffs aufweist, wobei ein weiterer Teil des gasförmigen Brennstoffs aus dem oberen Anodenraum (104) in die anodenseitigen Strömungsfelder (40) hineinströmt, dass zwischen dem Ausgang (160) des oberen Anodenraums (104) und einem Eingang (144) des unteren Anodenraums eine Leitung (162, 166) für den weiteren Teil des gasförmigen Brennstoffs vorgesehen ist, dass in dieser Leitung (162, 166) eine Drosselstelle bzw. ein Drosselventil (164) eingebaut ist, dass eine Zuführleitung (140) für frischen Brennstoff in die zuletzt genannte Leitung (166) stromabwärts der Drosselstelle bzw. des Drosselventils (164) mündet, dass eine Brennstoffzuführeinrichtung (142) in der Zuführleitung (140) vorgesehen ist, dass ein Ausgang (148) des unteren Anodenraums (106) mit dem Eingang (156) des oberen Anodenraums (104) über eine weitere Leitung (149, 154) verbunden ist, dass eine Pumpe (152) in der den Ausgang (148) des unteren Anodenraums (106) mit dem Eingang (156) des oberen Anodenraums verbindenden weiteren Leitung (149, 154) vorgesehen ist, dass eine Abzweigleitung von der den Ausgang (160) des oberen Anodenraums mit dem Eingang (144) des unteren Anodenraums (106) verbindenden Leitung (162, 166) stromaufwärts der Drosselstelle bzw. des Drosselventils (164) abzweigt und dass eine Ablassereinrichtung (170) in der Abzweigleitung vorgesehen ist.

29. Verfahren zum Betrieb eines Brennstoffzellenstapels, der aus mehreren zusammengeschlossenen Brennstoffzellen besteht, die jeweils eine Anode (18) und eine Kathode (16) sowie eine dazwischen angeordnete Membran (42) aufweisen, die zwischen zwei bipolaren Platten (10) angeordnet sind, wobei die Anodenseiten der einzelnen Brennstoffzellen Strömungsfelder

(40) für einen den Brennstoffzellen zugeführten gasförmigen Brennstoff und die Kathodenseiten der einzelnen Brennstoffzellen Strömungsfelder (28) für ein den Brennstoffzellen zugeführtes gasförmiges Oxidationsmittel aufweisen und der Brennstoff und das Oxidationsmittel an Katalysatormaterial innerhalb der Brennstoffzellen zur Erzeugung von elektrischer Energie bei gleichzeitiger Produktion von Wasser reagieren, wobei die anodenseitigen Strömungsfelder (40) sich zwischen einem im Brennstoffzellenstapel oben angeordneten Anodenraum (104) und einen im Brennstoffzellenstapel unten angeordneten Anodenraum (106) erstrecken, dadurch gekennzeichnet, dass während der elektrochemischen Reaktion erzeugtes und in Form einer Flüssigkeit vorliegendes Wasser im unteren Anodenraum (106) gesammelt und zur Befeuchtung des im unteren Anodenraum (106) des Brennstoffzellenstapels zugeführten Brennstoffs ausgenutzt wird, und dass der im unteren Anodenraum (106) befeuchtete Brennstoff dem oberen Anodenraum (104) zugeführt wird und dort mindestens zum Teil in die anodenseitigen Strömungsfelder (40) eingespeist wird.

30. Verfahren nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, dass im unteren Anodenraum (106) ein poröses Material (114) zur Vergrößerung der Verdunstungsfläche (120) des gesammelten Wassers verwendet wird.

31. Verfahren nach Anspruch 29 oder 30, dadurch gekennzeichnet, dass flüssiges Wasser aus dem unteren Anodenraum (106) kontinuierlich oder diskontinuierlich abgelassen wird.

32. Verfahren nach einem der Ansprüche 29 bis 31, dadurch gekennzeichnet, dass ein Teil des dem oberen Anodenraum (104) zugeführten befeuchteten Brennstoffs über ein Drosselventil (164) dem unteren Anodenraum (106) wieder zugeführt wird.

33. Verfahren nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, dass im unteren Anodenraum (106) der diesem von der Brennstoffzufuhreinrichtung (142) zugeführte Brennstoff mit unverbrauchtem, aus den anodenseitigen Strömungsfeldern (40) austretendem, feuchten Brennstoff vermischt wird.

34. Verfahren nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, dass ein Teil der anodenseitig strömenden Gase diskontinuierlich oder kontinuierlich abgelassen wird, um die Anodenseite des Brennstoffzellenstapels vom sich ansammelnden Stickstoff zu befreien.

35. Verfahren nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, dass beim Ablassen eines Teils der anodenseitig strömenden Gase die Rückführung eines Teils des dem oberen Anodenraum zugeführten Brennstoffs in den unteren Anodenraum gestoppt wird.

36. Verfahren nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, dass zum Stoppen der Rückführung von Brennstoff vom oberen Anodenraum (104) in den unteren Anodenraum (106) das Drosselventil (164) geschlossen wird.

37. Verfahren nach Anspruch 35 oder 36, dadurch gekennzeichnet, dass beim Ablassen der anodenseitig strömenden Gase auch die Leitung (149, 154) vom unteren Anodenraum (106) zum oberen Anodenraum (104) abgesperrt wird.

38. Brennstoffzellenstapel, der aus mehreren zusammengeschlossenen Brennstoffzellen besteht, die jeweils eine Anode (18) und eine Kathode (16) sowie eine dazwischen angeordnete Membran (42) aufweisen und die jeweils zwischen zwei bipolaren Platten (10) angeordnet sind, wobei die Anodenseiten der einzelnen

Brennstoffzellen Strömungsfelder (40) für einen gasförmigen Brennstoff aufweisen, der den Brennstoffzellen zugeführt wird, und wobei die Kathodenseiten der einzelnen Brennstoffzellen Strömungsfelder (28) für ein gasförmiges Oxidationsmittel aufweisen, das den Brennstoffzellen zugeführt wird, und wobei der Brennstoff und das Oxidationsmittel an einem Katalysatormaterial im Inneren der Brennstoffzellen zur Erzeugung von elektrischer Energie bei gleichzeitiger Erzeugung von Wasser reagieren, und wobei die anodenseitigen Strömungsfelder (40) sich zwischen einem im Brennstoffzellenstapel oben angeordneten Anodenraum (104) und einem im Brennstoffzellenstapel unten angeordneten Anodenraum (106) erstrecken, dadurch gekennzeichnet, dass ein Sammelbehälter (112) mit dem im Brennstoffzellenstapel unten angeordneten Anodenraum zum Sammeln von Wasser verbunden ist, das während der elektrochemischen Reaktion erzeugt wird und in Form einer Flüssigkeit vorliegt, die eine Verdunstungsfläche (120) aufweist, und dass frischer, dem Brennstoffzellenstapel zugeführter Brennstoff befeuchtet wird, indem er mit befeuchteten, aus den Anodenströmungsfeldern austretenden Gasen vermischt wird, und durch zusätzlichen Wasserdampf, der von der Verdunstungsfläche (120) zugeführt wird.

39. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, dass eine Pumpe vorgesehen ist, die ein Gemisch aus dem frischen Brennstoff, den befeuchteten Gasen und dem Wasserdampf von der Verdunstungsfläche aufnimmt und dieses dem oberen Anodenraum zuführt.

40. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 39, dadurch gekennzeichnet, dass die Pumpe zumindest mit dem unteren Anodenraum oder mit dem daran angeschlossenen Behälter verbunden ist.

41. Brennstoffzellensystem nach einem der Ansprüche 38 bis 40, dadurch gekennzeichnet, dass ein Heizer (272) in dem flüssigen Wasser vorgesehen ist, um dieses zur Erhöhung der von der Verdunstungsfläche zugeführten Wassermenge aufzuheizen.

42. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, dass der Heizer mit einem Kühlkreislauf (250) des Brennstoffzellenstapels verbunden ist und durch das Kühlmittel mit Wärme versorgt wird.

43. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 42, dadurch gekennzeichnet, dass ein Mittel vorgesehen ist, um die Menge des dem Heizer zugeführten Kühlmittels zu variieren.

44. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 43, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel ein Ventil umfasst.

45. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 43, dadurch gekennzeichnet, dass das Mittel eine variable Förderpumpe umfasst.

46. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, dass der Heizer einen elektrische Heizer umfasst.

47. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 41, dadurch gekennzeichnet, dass der Heizer einen elektrischen Heizer und einen Heizer umfasst, der mit einem Kühlkreislauf (250) des Brennstoffzellenstapels verbunden ist und der durch das Kühlmittel mit Wärme versorgt wird.

48. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, dass der untere Anodenraum (106) mit zumindest einem Auslass für flüssiges Wasser und befeuchtete, aus den Anodenströmungsfeldern (40) austretende Gase versehen ist und dass der Sam-

melbehälter von dem unteren Anodenraum (106) getrennt, aber über den zumindest einen Auslass mit diesem verbunden ist.

49. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, dass die Sammelkammer einen geneigten Boden aufweist, der zu einem Ablauf führt, und dass ein Ventil vorgesehen ist, um den Ablauf selektiv zu öffnen oder zu schließen.

50. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, dass ein Wasserzufuhranschluss vorgesehen ist, um der Anodenseite des Brennstoffzellenstapels zusätzliches Wasser zuzuführen.

51. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 50, dadurch gekennzeichnet, dass der Wasserzufuhranschluss eine Verbindung zu einer Wand ist, die den Anodenraum unten im Brennstoffzellenstapels definiert.

52. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 50, dadurch gekennzeichnet, dass der Wasserzufuhranschluss derart ausgebildet ist, dass er Wasser auf das poröse Material in dem Sammelbehälter sprüht.

53. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 50, dadurch gekennzeichnet, dass der Wasserzufuhranschluss derart ausgebildet ist, dass er das zusätzliche Wasser mit frischem Brennstoff vermischt, welcher der Anodenseite des Brennstoffzellenstapels zugeführt wird.

54. Brennstoffzellensystem nach einem der vorherigen Ansprüche 50 bis 53, dadurch gekennzeichnet, dass der Wasserzufuhranschluss für zusätzliches Wasser direkt oder indirekt mit der Kathodenseite des Brennstoffzellenstapels verbunden ist, um der Anodenseite Wasser von der Kathodenseite zuzuführen.

55. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 39 und einem der weiteren Ansprüche 40 bis 54, dadurch gekennzeichnet, dass eine Brennstoffzufuhreinrichtung (142) vorgesehen ist, um dem Anodenraum (106) unten im Brennstoffzellenstapel Brennstoff zuzuführen, wobei sich dort ein Rohr (280) befindet, das sich durch den Anodenraum unten im Brennstoffzellenstapel von einem Einlass (144) für den Brennstoff aus der Brennstoffzufuhreinrichtung (142) zu einem Auslass (148) erstreckt, der mit der Pumpe (152) kommuniziert, wobei das Rohr eine perforierte oder poröse Wandung aufweist, die es ermöglicht, dass befeuchtete, aus den Anodenströmungsfeldern (840) austretende Gase in das Rohr eintreten und sich mit dem Brennstoff vermischen.

56. Verfahren zum Betrieb eines Brennstoffzellenstapels nach Anspruch 29, gekennzeichnet durch den weiteren Schritt des Aufheizens von Wasser, das in dem Sammelbehälter gesammelt wird.

57. Verfahren nach Anspruch 56, dadurch gekennzeichnet, dass das Aufheizen bewirkt wird, indem ein Wärme transportierendes Medium durch einen Wärmetauscher geführt wird, der in dem Wasser in dem Sammelbehälter vorgesehen ist.

58. Verfahren nach Anspruch 57, dadurch gekennzeichnet, dass das Wärme transportierende Medium ein Kühlmittel umfasst, das in einem Kühlkreislauf des Brennstoffzellenstapels verwendet wird.

59. Verfahren nach einem der Ansprüche 56 bis 58, dadurch gekennzeichnet, dass der Aufheisschritt zusätzlich oder alternativ zum Aufheizen durch ein Wärme transportierendes Medium elektrisch ausgeführt wird.

60. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche 29 bis 37 oder 56 bis 59, dadurch gekennzeichnet, dass der Anodenseite des Brennstoffzellenstapels zusätzliches Wasser zugeführt wird.

61. Verfahren nach Anspruch 60, dadurch gekennzeichnet, dass das zusätzliche Wasser der Anodenseite des Brennstoffzellenstapels von der Kathodenseite des Brennstoffzellenstapels aus zugeführt wird.

62. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 38, dadurch gekennzeichnet, dass ein Auslassventil an den unteren Anodenraum angeschlossen ist, um zumindest einen Teil der durch die Anodenströmungsfelder strömenden Gase diskontinuierlich abzulassen, und dass eine Klappenanordnung in dem unteren Anodenraum angeordnet und ausgebildet ist, um für das diskontinuierliche Ablassen der Gase zu schließen, um zumindest im Wesentlichen zu verhindern, dass frischer Brennstoff, der zum Spülen der Anodenströmungsfelder verwendet wird, direkt zu dem Auslassventil strömt.

63. Brennstoffzellensystem mit einem Brennstoffzellenstapel, der mehrere Brennstoffzellen umfasst, wobei jede Brennstoffzelle eine Anode (18), die eine Anodenseite definiert, eine Kathode (16), die eine Kathodenseite definiert, und eine zwischen der Anode und der Kathode angeordnete Membran (42) aufweist, wobei jede Brennstoffzelle zwischen einer ersten und einer zweiten bipolaren Platte (10) angeordnet ist, wobei es an den Anodenseiten Strömungsfelder (40) für einen den Brennstoffzellen zugeführten, gasförmigen Brennstoff, an den Kathodenseiten Strömungsfelder (28) für ein den Brennstoffzellen zugeführtes, gasförmiges Oxidationsmittel und im Innern der Brennstoffzellen ein Katalysatormaterial gibt, an dem der Brennstoff und das Oxidationsmittel zur Erzeugung von elektrischer Energie bei gleichzeitiger Erzeugung von Wasser reagieren, wobei die Brennstoffzellen zusammengegeschlossen sind und einen Anodeneinlassraum (104) in einem ersten Seitenbereich des Brennstoffzellenstapels und einen Anodenauslassraum (106) in einem zweiten Seitenbereich des Brennstoffzellenstapels aufweisen, wobei sich die anodenseitigen Strömungsfelder zwischen dem Anodeneinlassraum (104) und dem Anodenauslassraum (106) erstrecken, dadurch gekennzeichnet, dass

dem Anodenauslassraum (104) ein Sammelbehälter (112) zugeordnet ist, der unter den Brennstoffzellen angeordnet ist, um Wasser zu sammeln, das während der Reaktion des Brennstoffs mit dem Oxidationsmittel erzeugt wird und das in Form einer Flüssigkeit mit einer Verdunstungs Oberfläche (120) vorliegt,

ein Mittel zum Befeuchten von dem Brennstoffzellenstapel zugeführtem, frischem Brennstoff vorgesehen ist, indem der Brennstoff mit befeuchteten Gasen, die aus den Anodenströmungsfeldern (40) austreten, und mit zusätzlichem Wasserdampf vermischt wird, der von der Verdunstungs Oberfläche (120) zugeführt wird, und

das Befeuchtungsmittel eine Pumpe zur Erzeugung einer Strömung von dem Anodenauslassraum (106) in den Anodeneinlassraum (104) und durch die Anodenströmungsfelder zurück zu dem Anodenauslassraum (106) aufweist.

64. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 63, dadurch gekennzeichnet, dass der Anodenauslassraum (106) oder der Behälter einen Eingang zum Zuführen von frischem Brennstoff zu dem Anodenauslassraum (106) aufweist.

65. Brennstoffzellensystem nach Anspruch 63 oder 64, dadurch gekennzeichnet, dass der Anodeneinlassraum (104) an einer oberen Seite des Brennstoffzellenstapels und der Anodenauslassraum (106) an einer unteren Seite des Brennstoffzellenstapels angeordnet ist.

66. Brennstoffzellensystem nach einem der Ansprüche 63 bis 65, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennstoffzellen im Wesentlichen vertikal angeordnet sind.
67. Brennstoffzellensystem nach einem der Ansprüche 63 bis 66, dadurch gekennzeichnet, dass der Anodeneinlassraum (104) an einer ersten, sich im Wesentlichen vertikal erstreckenden Seite des Brennstoffzellenstapels angeordnet ist und dass der Anodenauslassraum (106) an einer zweiten, sich im Wesentlichen vertikal erstreckenden Seite des Brennstoffzellenstapels angeordnet ist.
68. Brennstoffzellensystem nach einem der Ansprüche 63 bis 65 oder 67, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennstoffzellen im Wesentlichen horizontal angeordnet sind.
69. Brennstoffzellensystem nach einem der Ansprüche 63 bis 65 oder 67, dadurch gekennzeichnet, dass die Brennstoffzellen bezüglich einer horizontalen Richtung von dem Anodeneinlassraum (104) zu dem Anodenauslassraum (106) nach unten geneigt sind.
70. Brennstoffzellensystem nach einem der Ansprüche 63 bis 69, dadurch gekennzeichnet, dass die Pumpe in einer Höhe oberhalb des Niveaus des Wassers in dem Wassersammelbehälter angeordnet ist.
71. Brennstoffzellensystem nach einem der Ansprüche 63 bis 70, dadurch gekennzeichnet, dass ein Auslassventil (170) an den unteren Anodenraum (106) angeschlossen ist, um zumindest einen Teil der durch die Anodenströmungsfelder strömenden Gase diskontinuierlich abzulassen, und dass eine Klappenanordnung (173) in dem unteren Anodenraum (106) oder dem Sammelbehälter angeordnet und ausgebildet ist, um für das diskontinuierliche Ablassen der Gase zu schließen, um zumindest im Wesentlichen zu verhindern, dass frischer Brennstoff, der zur Spülung der Anodenströmungsfelder verwendet wird, direkt zu dem Auslassventil (170) strömt.

Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen

40

45

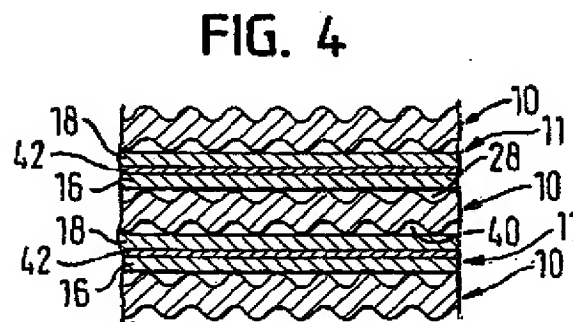
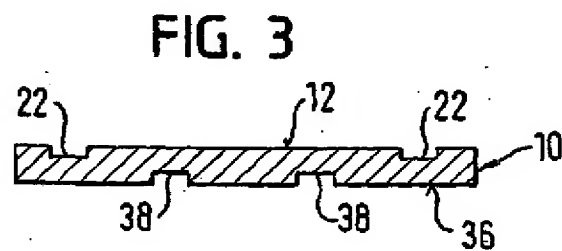
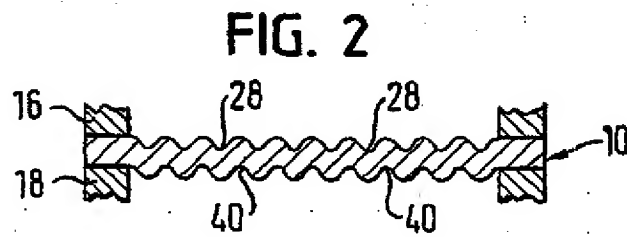
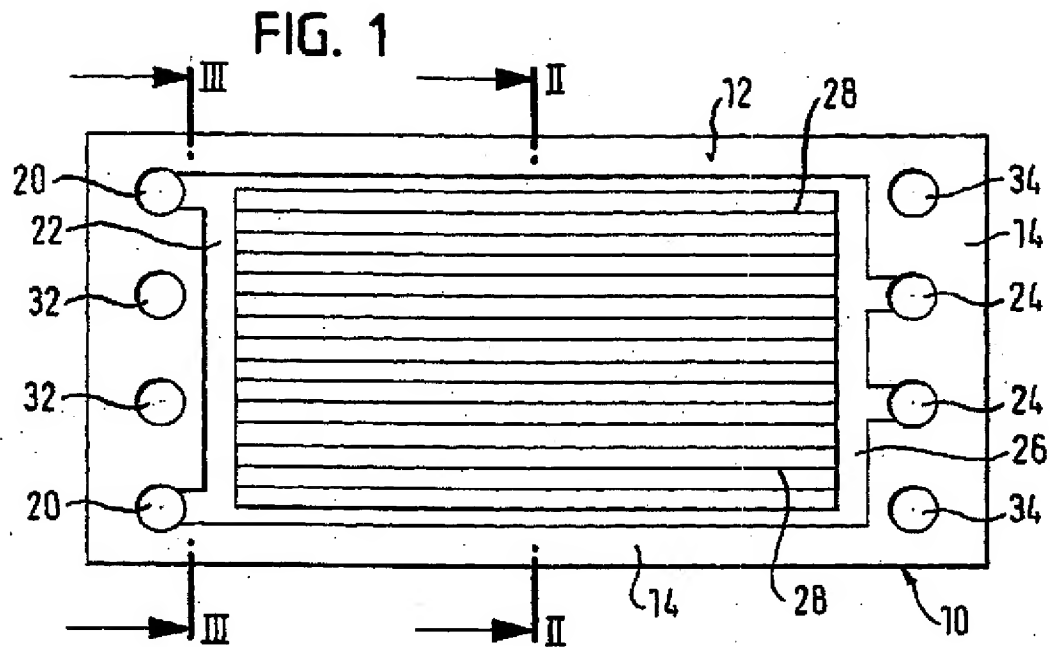
50

55

60

65

- Leerseite -



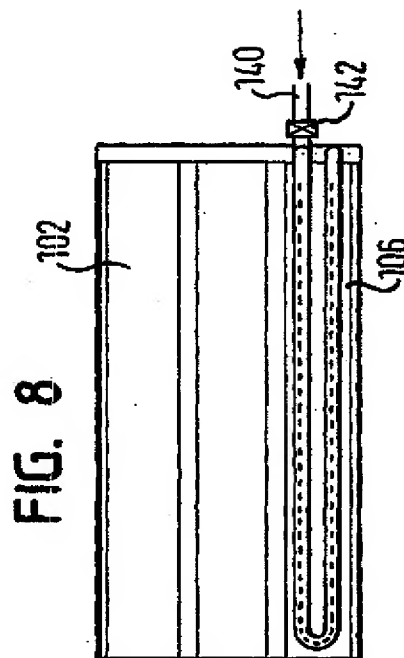
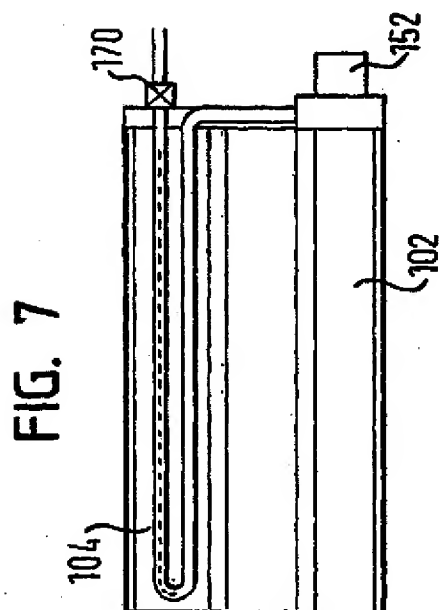
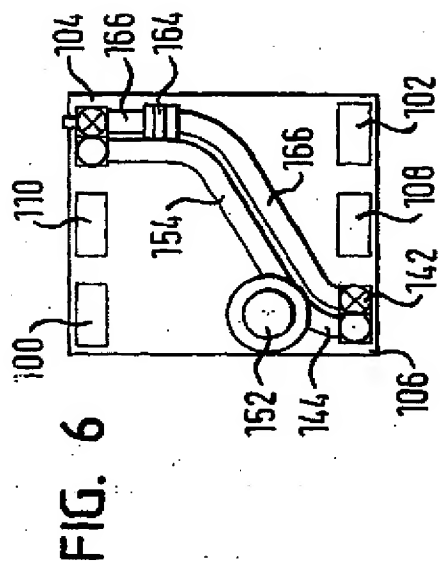
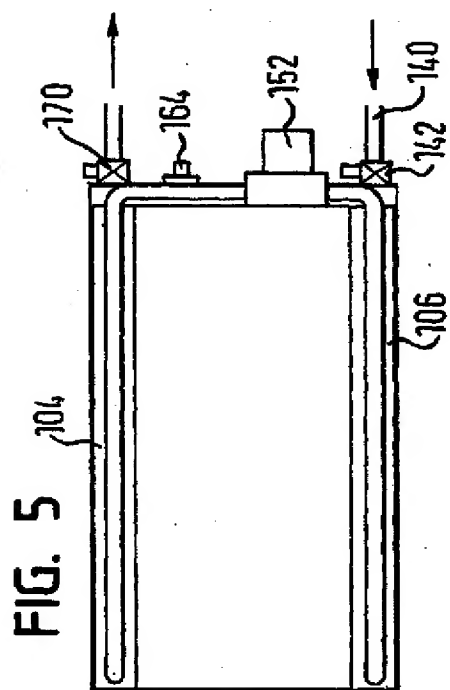
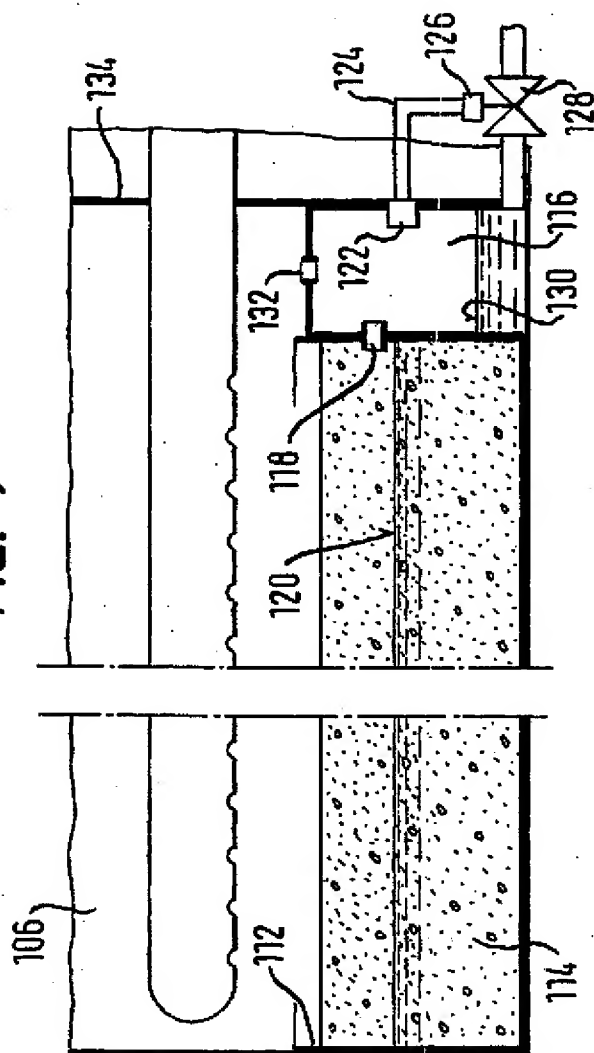


FIG. 9



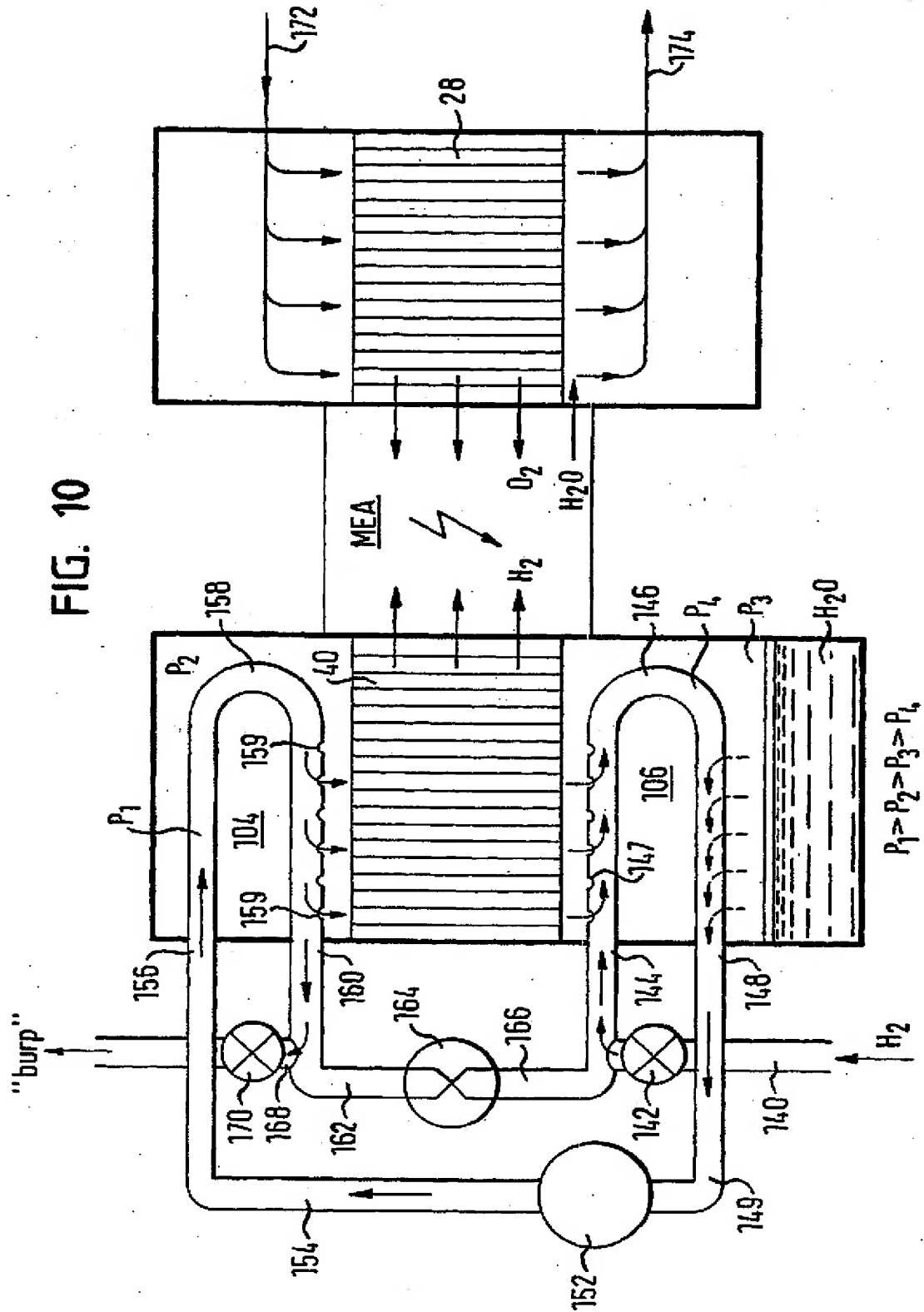


FIG. 11

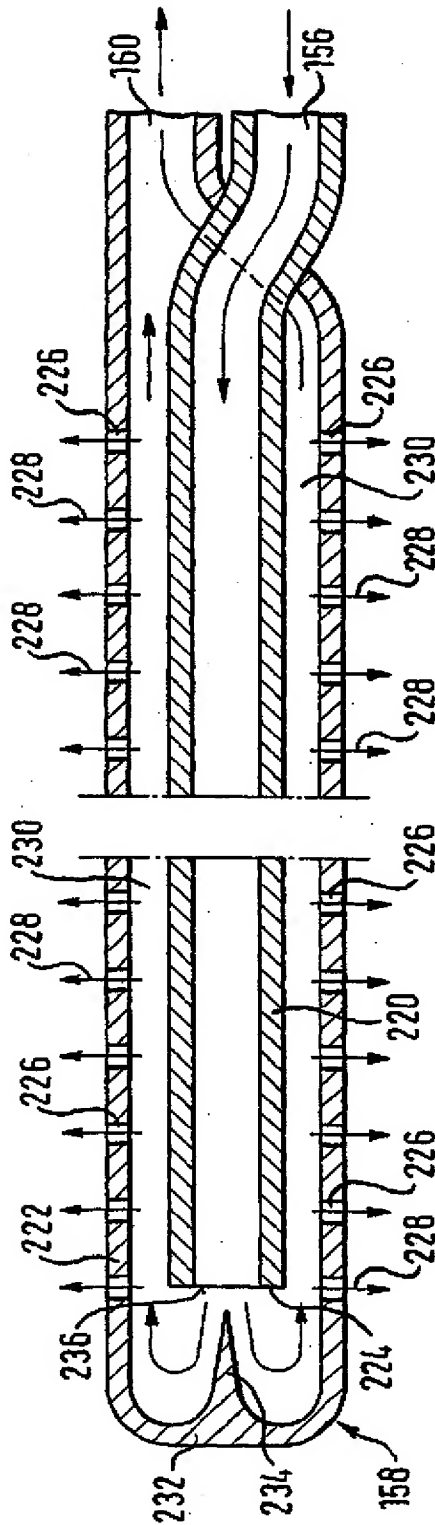


FIG. 12

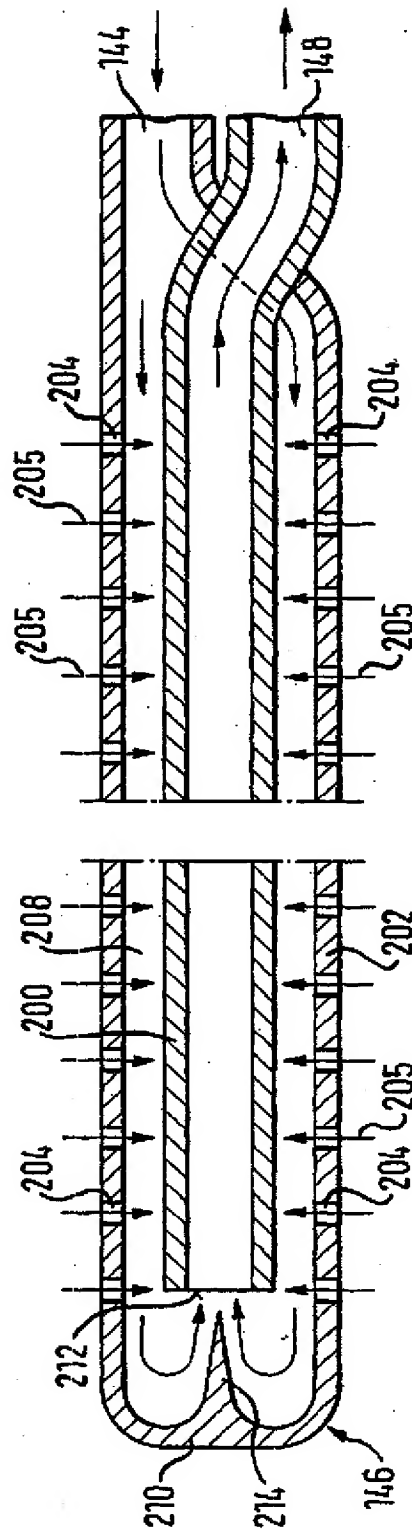


FIG. 13

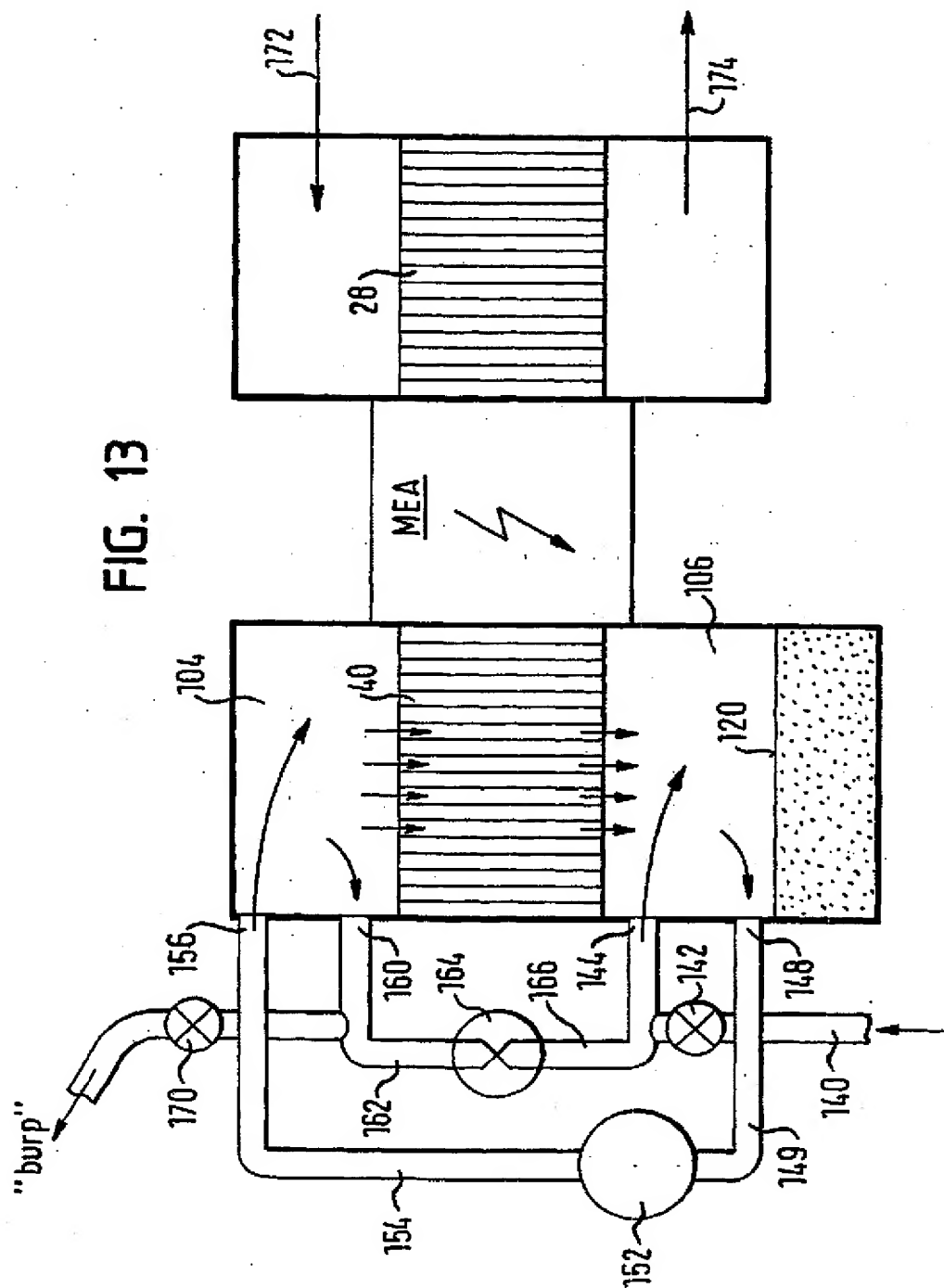


FIG. 14

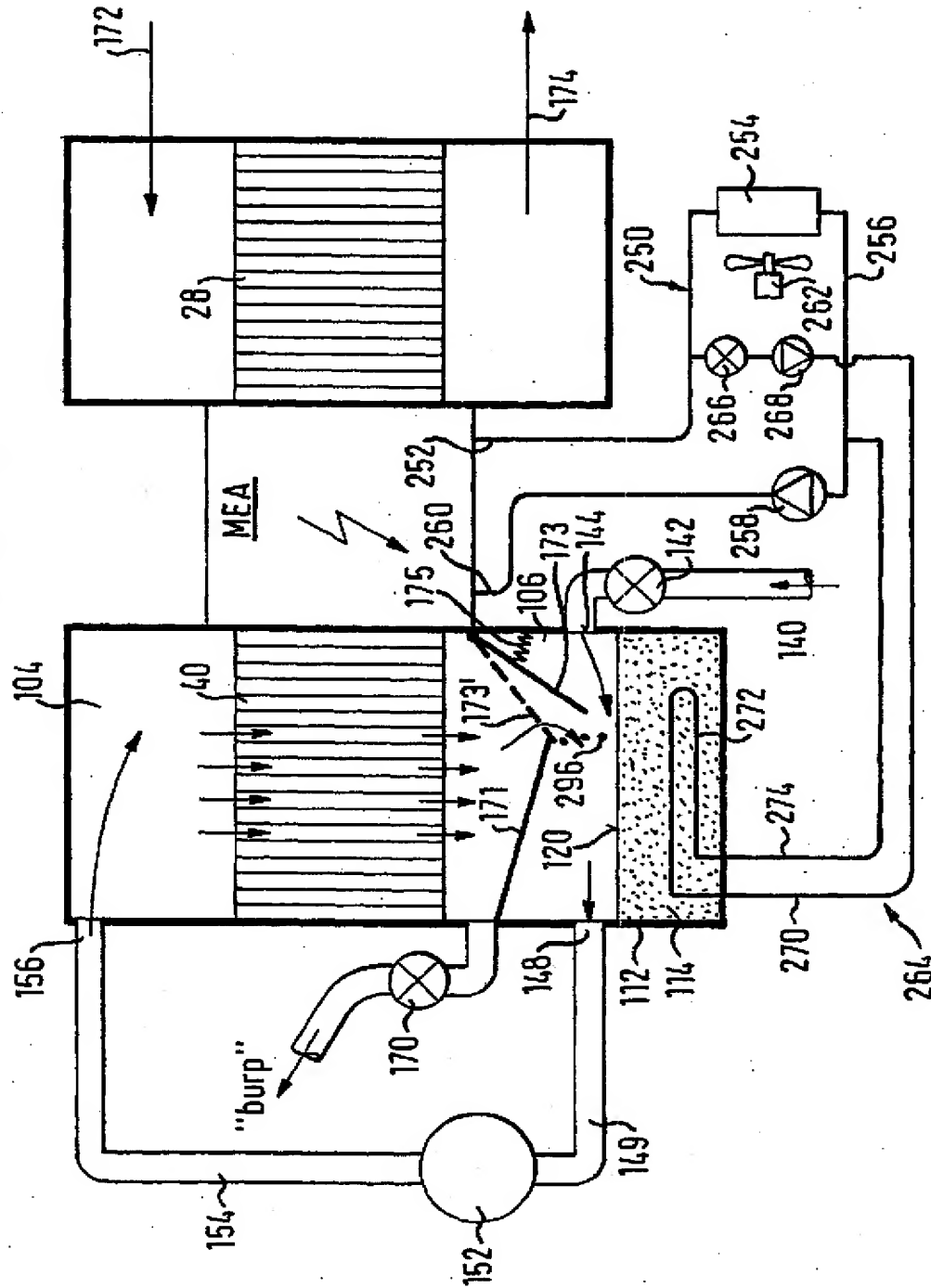


FIG. 16

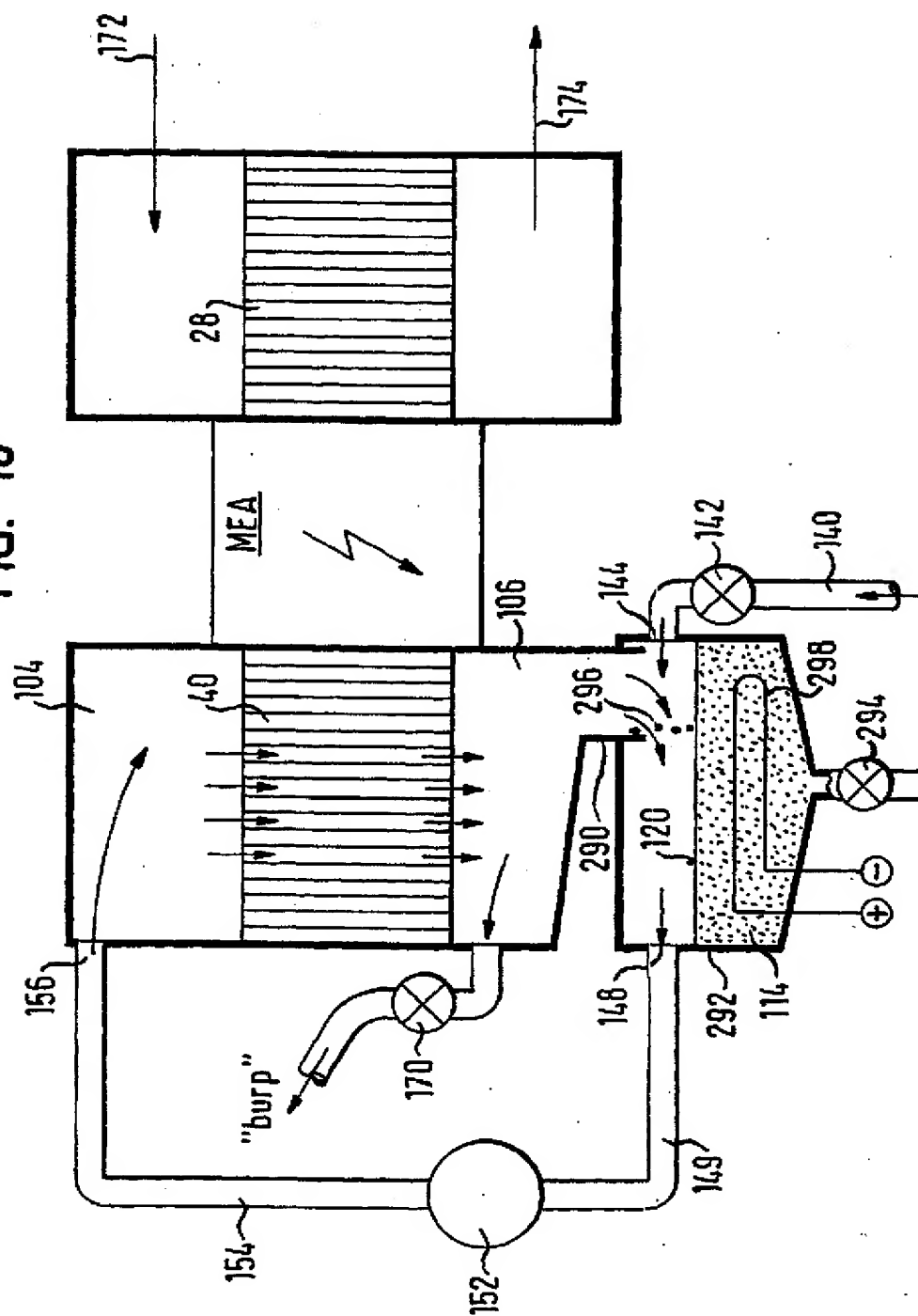


FIG. 17

